Die luftelektrischen Verhältnisse am Zugspitzgipfel in 2960 m

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der philosophischen Fakultät II. Sektion

der Ludwig-Maximilians-Universität München

Eingereicht am 11. Januar 1929 von

PETER LAUTNER

aus Fürth

Berichterstatter: Geh. Reg.-Rat Professor Dr. A. Schmauß, Professor Dr. E. Rüchardt

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Februar 1929

BIBLIOTHEEK
RIJKS
UNIV.
LEIDEN

Meinen lieben Eltern

Die luftelektrischen Verhältnisse am Zugspitzgipfel in 2960 m.

Von Peter Lautner.

Einteilung der Arbeit.

1. Gegenstand der Arbeit.

I. Der Messort, Instrumentelles, die Beobachtungsmethoden.

2. Der Messort.
3. Die Registrierung des Spannungsgefälles.
4. Die Messungen mit dem Wilsongerät.

II. Das normale Verhalten der luftelektrischen Elemente am Gipfel.

5. Das Spannungsgefälle.
6. Der Leitungsstrom.
7. Die Leitfähigkeit.
8. Die Raumladung.
9. Die durchdringende Strahlung.
10. Die Ionenführung der Gipfelluft und die luftelektrische Bilanz.
11. Reduktion der Zugspitzmessungen auf die freie Atmosphäre.

III. Die Abweichungen vom normalen Verhalten.

12. Typische Potentialgefällregistrierungen.
13. Störungsmessungen mit dem Wilsongerät.
14. Zusammenfassung der Ergebnisse.
15. Literaturangabe.

gross erweist, dass bereits eine Ablesung auf ganze Kompensatorteile vollauf genügt. Ein Kompensatorteil entspricht dabei durchschnittlich 0,0005 E.S.E. für 100 qcm Auffangfläche und diese Menge ist somit sicher bestimmbar.

Jede der 12000 Einzelmessungen wurde nach dem folgenden Schema exerziermässig durchgeführt:

1. Erdungsstift E fest an das System Platte-Saite stellen.
2. Kompensator K ganz ausfahren bzw. bei gestörten Verhältnissen auf einen bestimmten Teilstrich, etwa 200, einstellen.
3. Erdungsstift E lösen.
4. Saite scharf auf Null (Okularmitte) einstellen.
5. Deckel D zurück (Auffangplatte frei im Erdfeld) und Druck auf die Stoppuhr (Beginn der Messung).
6. Kompensator K rasch einfahren, bis Saite auf Null.
7. σ-Wert (zur Berechnung von Oberflächenladung und Potentialgradient) am Kompensator ablesen und aufschreiben.
8. Während einer festen Expositionszeit, z. B. 2 Minuten, dauernd kompensieren (d. h. Saite auf Null halten).
9. Deckel D vor die Platte P nach Ablauf dieser Zeit.
10. Kompensator K ganz ausfahren und dann sofort wieder herein bis zur Kompensation des i-Ausschlages.
11. i-Wert am Kompensator K ablesen und aufschreiben (Grundlage für die Berechnung des Leitungsstromes).
12. = 1. Erdungsstift E fest an das System Platte-Saite stellen.
13. = 2. Kompensator ganz ausfahren.
14. = 3. Erdungsstift E lösen.
15. = 4. Saite scharf auf Null einstellen.
16. = 5. Abstellen der noch laufenden Stoppuhr und sofortiges Neuanspringen derselben mit gleichzeitigem Deckel D zurück (Beginn der nächsten Messung) usw.

Je nach den herrschenden meteorologischen Umständen bilden 20 bis 50 solche rund 2 Minuten dauernde Messungen einen Satz, der dem betreffenden Termin zugeschrieben wird (Termin I 8—9, II 13—14, III 20—21 Uhr M.E.Z.). Während dieser Messungen wurde der einwandfreie Zustand des Instrumentariums fast immer noch in der Weise geprüft, dass eine wiederholte Folge verschieden langer Expositionen der Auffangplatte (z. B. 1, 2 und 3 Minuten) übereinstimmende Werte ergeben mussten.

Die Berechnung der vier luftelektrischen Elemente aus solchen Beobachtungen geht nun so vor sich, dass zunächst die abgelesenen Kompensatorteile vermöge der Kompensatoreichtabelle (auf Bild 4 sichtbar) in Elektrizitätsmengen E.S.E. ausgedrückt werden. Jede Beobachtung liefert so eine σ-Menge und eine i-Menge.

Eine Division der σ-Menge durch die Grösse der Auffangplatte (100 qcm) ergibt sofort bis auf das Vorzeichen die elektrische Oberflächendichte Σ E.S.E. für 1 qcm.

Kraft des elektrostatischen Gesetzes, dass der Potentialgradient V das minus 4π-fache der Oberflächendichte Σ ist, hat man damit auch dieses Element bestimmt.

Aus der i-Menge erhält man den Leitungsstrom J durch Division dieser Menge durch das Produkt aus Auffangfläche und Expositionszeit, und zwar bekommt man gleich den gesamten Leitungsstrom wegen der Gültigkeit der Kontinuitätsbedingung für einen stationären elektrischen Strom. Bei ruhender oder zur Auffangfläche tangential bewegter Luft muss nämlich die Dichte des gesamten Stromes in bezug auf eine Erhebung längs einer Stromlinie über der Auffangfläche konstant sein. Nimmt man die Achse einer Stromröhre als z-Koordinate mit dem Nullpunkt an der Auffangplatte, so ist in dieser Stromröhre $J = i_+(z) + i_-(z) = \text{const.}$ und daher für $z = 0$ das $i_- = 0$ und $i_+ = J$.

Vermöge der Beziehung, dass dieser Leitungsstrom J bis auf das Vorzeichen gleich dem Produkte aus dem Potentialgradienten V und der Leitfähigkeit λ ist, lässt sich endlich auch noch dieses Element aus den Beobachtungen errechnen.

Mit Rücksicht darauf, dass 1 E.S.E. gleich 300 Volt und 1 Amp. gleich 3×10^9 E.S.E. pro Sekunde ist, sind im folgenden in üblicher Weise Σ in E.S.E. für 1 qcm mal 10^{-5},

V in Volt für 1 m,

J in Amp. für 1 qcm mal 10^{-16} und

λ in E.S.E. für 1 Sekunde mal 10^{-5} angegeben.

Wird z. B. eine σ-Menge = 0,0428 E.S.E. und eine

i-Menge = 0,0242 E.S.E. gemessen,

so ergibt dies ein $\Sigma = -42{,}8 \times 10^{-5}$ E.S.E./qcm,

ein V = 161,4 Volt/m,

ein $J = 6{,}72 \times 10^{-16}$ Amp./qcm und

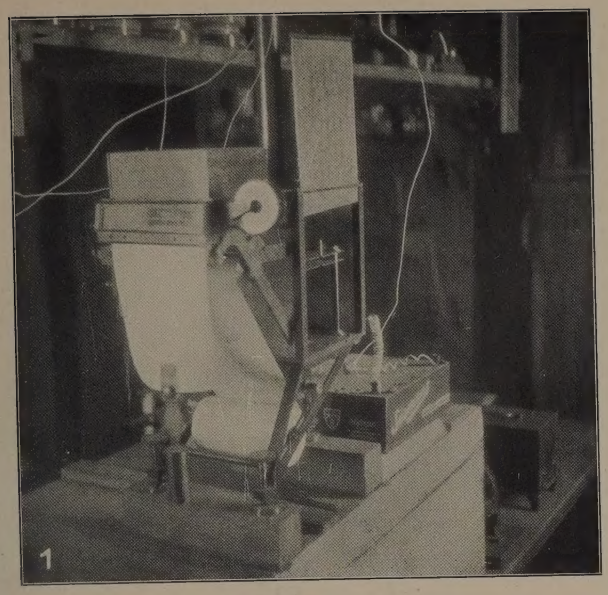
ein $\lambda = 37{,}5 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec.

II.

Das normale Verhalten der luftelektrischen Elemente am Zugspitzgipfel.

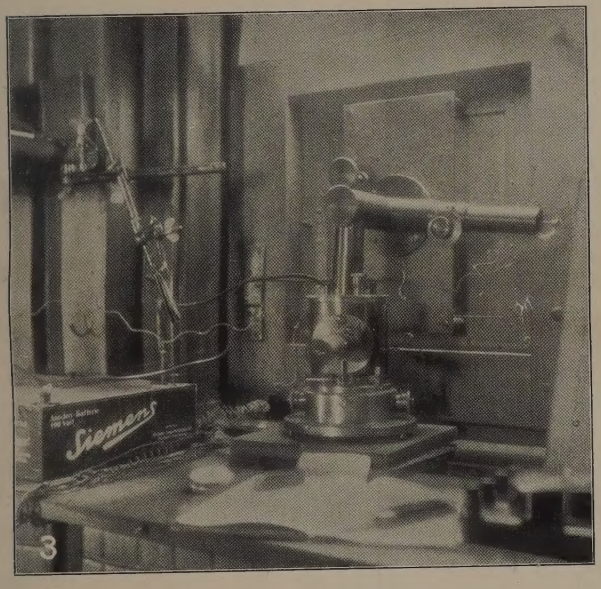
5. Das Spannungsgefälle.

Die Registrierstreifen des Potentialgefälles wurden zunächst stundenweise in der Art ausgemessen, dass für jede ganze Stunde nach M.E.Z. die Ordinate von der Nullinie aus in ganzen Millimetern abgelesen und in Monatstabellen eingetragen wurde. Um das vorliegende Material möglichst umfassend auszunützen, wurden zur Berechnung der monatlichen Stundenmittel alle nicht extrem gestörten Werte herangezogen.

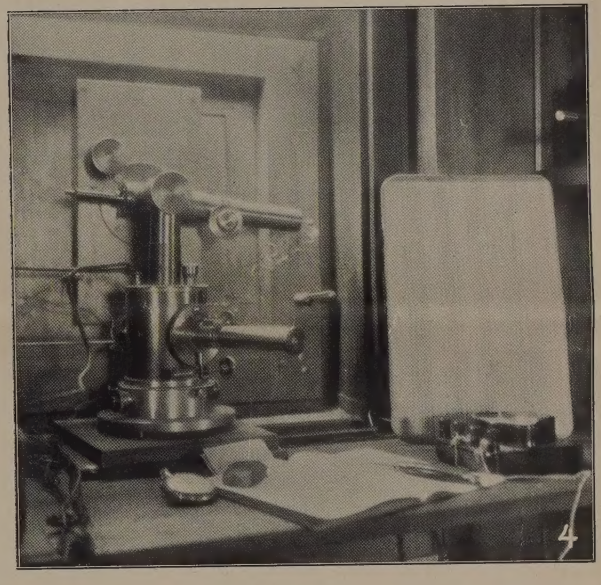


1

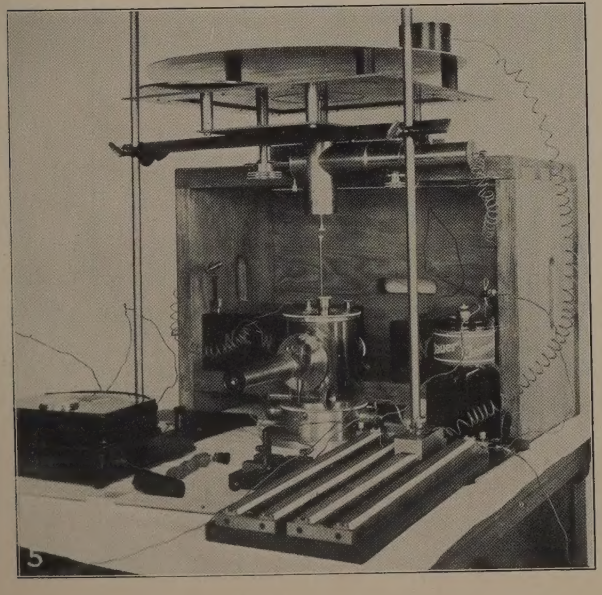
2



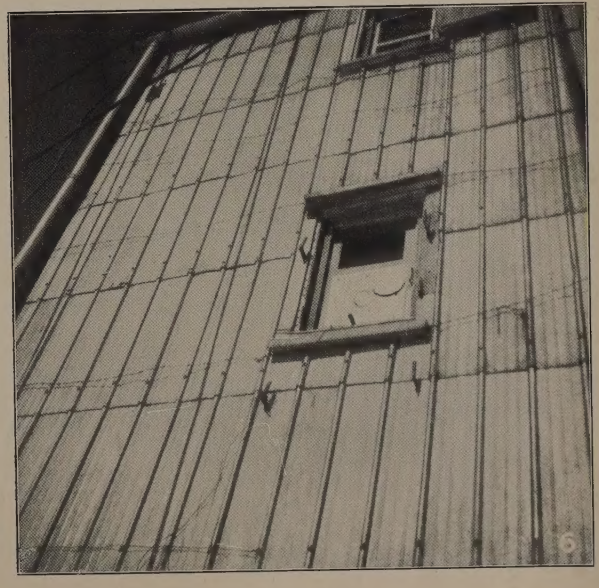
3



4



5



6

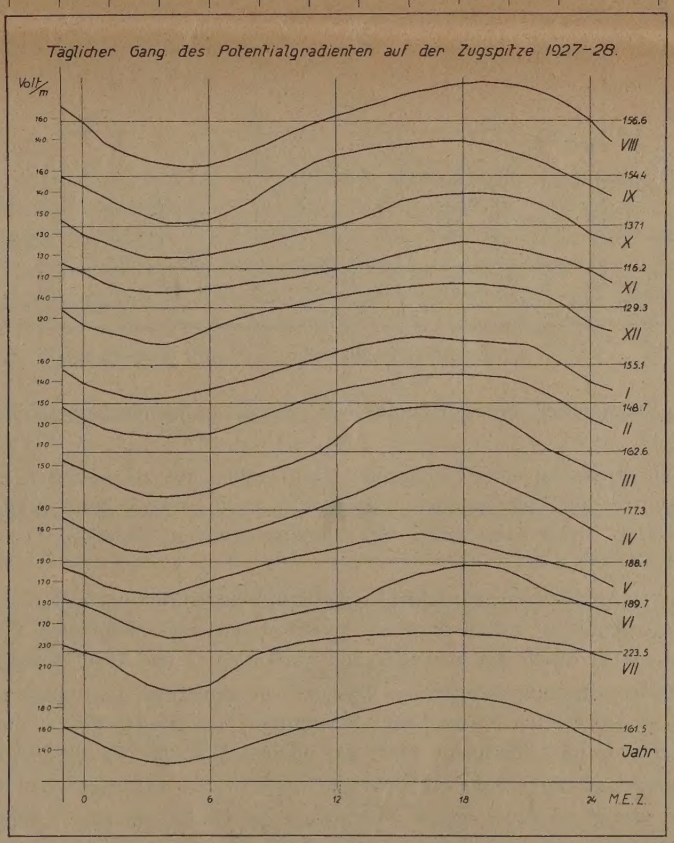
Unter dem Begriff extrem gestört seien dabei alle Werte des Potentialgradienten grösser als 320 Volt/m und kleiner als 30 Volt/m einschliesslich aller negativen Gradienten verstanden. Der Begriff „nicht extrem gestört" deckt sich also nicht ohne weiteres mit der üblichen Bezeichnung der „normalen Tage"; Fälle mit Nebel und Wolkenluft am Gipfel sind hier zahlreich einbezogen.

Auf dieser Grundlage können alle Monate homogen mit annähernd gleichem Wertebeitrag behandelt werden, während bei einer strengen Auswahl nur normaler Tage im geläufigen Sinne z. B. der besonders günstige Oktober 1927 etwa gleich mit 20 Tagen teilnimmt, während der Juli 1928 dagegen nicht einen einzigen Normaltag aufweist. Dieses Verfahren wäre also erst nach Vorliegen vieljähriger Registrierungen anwendbar.

Trotzdem ergibt obige Methode bei lediglicher Ausschaltung des extrem gestörten Kurvenanteiles bereits ein überraschend klares Bild des täglichen Ganges des Potentialgradienten am Zugspitzgipfel. Es sei nun der Tabelle 1, die das Ergebnis enthält und der Figur 3, die es graphisch wiedergibt, eine kurze Betrachtung gewidmet.

Tabelle 1.

Stunde M. E. Z. / Monat	Täglicher Gang des Potentialgradienten in Volt/m																								Mittel nur Normaltage
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Mittel	
August	137	127	120	116	114	115	121	129	138	147	155	162	168	174	181	186	190	193	**194**	193	189	182	171	157	156.6	149
September	135	125	116	110	110	113	121	131	145	157	168	174	178	181	184	186	**187**	**187**	184	178	172	164	154	145	154.4	143
Oktober	122	114	108	107	107	110	114	118	123	128	132	137	143	150	160	164	166	**167**	**167**	166	162	154	143	129	137.1	133
November	103	97	95	94	95	97	100	103	106	108	112	116	120	125	130	134	138	**141**	140	137	133	128	122	114	116.2	108
Dezember	107	102	96	95	101	110	117	123	128	132	136	140	143	146	148	150	**151**	**151**	**151**	149	146	139	128	113	129.3	117
Januar	131	125	123	124	128	132	137	142	149	155	161	167	173	177	180	**181**	180	178	177	175	174	164	151	138	155.1	119
Februar	125	120	118	117	118	120	126	134	141	149	155	161	165	169	173	175	**176**	**176**	175	173	167	157	146	133	148.7	118
März	137	127	121	120	122	126	133	140	146	153	161	175	192	199	203	**205**	**205**	203	199	192	178	165	155	146	162.6	131
April	149	140	138	140	144	149	154	159	165	172	178	186	194	203	211	218	**220**	217	210	201	192	183	171	160	177.3	—
Mai	165	161	158	158	164	170	176	182	188	193	197	201	206	209	213	**214**	211	207	203	197	194	188	183	176	188.1	—
Juni	179	169	162	156	157	162	166	171	175	179	183	186	192	203	211	217	222	**225**	**225**	221	211	200	194	187	189.7	—
Juli	216	203	191	186	187	192	205	219	226	231	234	236	238	239	240	**241**	**241**	**241**	240	238	235	232	229	223	223.5	—
Jahr (nicht extrem gestört).	142.2	134.2	128.8	126.9	128.9	133.0	139.2	145.9	152.5	158.7	164.3	170.1	176.0	181.3	186.2	189.3	**190.1**	**190.1**	188.8	185.0	179.4	171.3	162.2	151.8	161.5	
Jahr (nur Normaltage).	111	101	91	90	94	98	105	112	116	120	127	132	139	146	152	154	154	**156**	152	146	143	132	120	113		125.1



Figur 3.

In Tabelle 1 und Figur 3 sind bereits alle Werte in Volt/m ausgedrückt und zwar bezogen auf die schon beschriebene Messstelle, das Südostturmfenster im 1. Stock. Diese Umrechnung der in Millimetern aus der Registrierung ent-

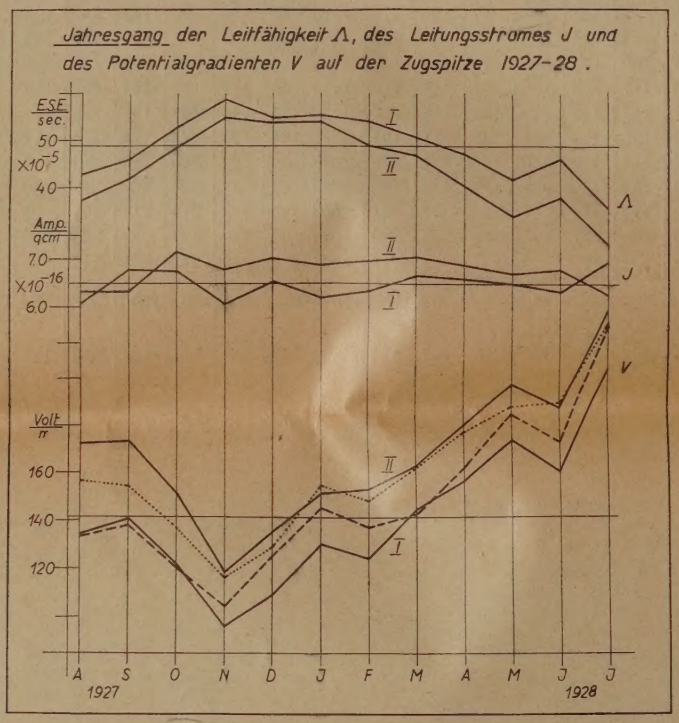
nommenen Ordinaten ist möglich und gerechtfertigt durch die Tatsache, dass einmal das Benndorfelektrometer dauernd eine befriedigend konstante Empfindlichkeit hatte und zum andern, dass sich der Verlauf der Registrierkurve jeweils vollständig konform den Messreihen am Wilsongerät zu den Terminen I, II und III ergab, was genau geprüft wurde.

Die Kurven zeigen, dass am Zugspitzgipfel bei der gewählten Aufstellung das ganze Jahr hindurch die einfache eintägige Welle vorherrscht mit dem universalzeitlichen Minimum von 4 Uhr M.E.Z., ein Ergebnis, das sich mit dem schon 1925 von mir erhaltenen deckt und nun nochmals kräftig belegt wird.

Im Vergleich hierzu ist es wohl von einigem Interesse, dass in München das ganze Jahr hindurch die Doppelwelle als vorherrschend gefunden wird[3]), während Potsdam[6]), Davos[7]) und Muottas-Muraigl[8]) Orte mit einem Übergang von der einfachen Welle im Winter zur Doppelschwingung in den Sommermonaten darstellen.

Aus der vorletzten Spalte der Tabelle 1 ist der mittlere Jahresgang 1927/28 des Potentialgradienten am Gipfel herauszulesen. Jede einzelne senkrechte Spalte ergibt denselben für die entsprechende am Kopf der Tabelle bezeichneten Stunde.

In Figur 4 stellt die punktierte V-Kurve diesen mittleren Jahresgang auf Grund der Benndorfregistrierung dar; die gestrichelte V-Kurve ist der jährliche Gang für die Stunde $\frac{8+9}{2}$, ungefähr der Mitte des Messtermins 1 am Wilsongerät entsprechend. (Den verschieden hohen Sommerwerten des Potentialgradienten von 1927 und 1928 kommt keine



Figur 4.

wesentliche Bedeutung zu, da bekanntlich der Jahresmittelwert dieses Elementes erheblichen Schwankungen unterworfen sein kann[3]) p. 33.)

Man sieht, dass der Jahresgang zu einer bestimmten Stunde dem aus allen Werten ermittelten gleichsinnig ist (dies zeigen die Spalten der Tabelle 1 für alle Tagesstunden), sodass also schon eine feste Beobachtungsstunde zur Gewinnung der Jahreskurve hinreichen würde. (Der Jahresgang der durchdringenden Strahlung 1925/26 wurde auf diese Weise ermittelt — Abschnitt 9.)

Vollständig unabhängig von der mechanischen Registrierung liegen nun noch die Messungen des Potentialgradienten am Wilsoninstrument vor. Das Ergebnis ist neben anderem in der weiter unten folgenden Tabelle 2 niedergelegt und für die Termine I (8—9) und II (13—14) durch die ausgezogenen V-Kurven I und II in Figur 4 eingezeichnet.

Es ergibt sich ein der Registrierung konformer Verlauf, der somit reell ist, und zwar, was auf den ersten Blick überrascht, mit dem Maximum im Sommer und dem Minimum im Spätherbst und den ersten Wintermonaten, also ein dem im Vorlande, in Davos und überhaupt sonst gefundenen Verhalten direkt entgegengesetztes Bild.

Auch eine Beschränkung auf die wirklichen „Normaltage", wobei der Juli 1928 nicht beteiligt ist, ändert das Ergebnis in keiner Weise. Die einzige Wirkung dieser Massnahme ist eine allgemeine Erniedrigung der mitgeteilten Werte des Potentialgradienten um rund 20 % (siehe Tabelle 1 letzte Zeile und letzte Spalte). Es wird aber weiter unten nach Behandlung der Leitfähigkeit noch gezeigt, dass der am Zugspitzgipfel gefundene Jahresgang eine unmittelbare und notwendige Folge des meteorologischen Verhaltens der Atmosphäre im Sommer und Winter ist.

6. Der Leitungsstrom.

Das Wilsongerät gestattete ferner die direkte Bestimmung des Leitungsstromes J. Wieder unter Weglassung der extrem gestörten Werte wurden Monatsmittel für die Termine I, II und III gebildet. Das Ergebnis enthält Tabelle 2. Die ausgezogenen J-Kurven in Figur 4 zeigen den Verlauf des Leitungsstromes für die Messstunden I und II.

Es ergaben sich ziemlich glatte Jahreskurven ohne Andeutung einer bestimmten Periode. Für den Termin I beobachtet man eine Jahresamplitude von nur 13,8% des Jahresmittels I gegenüber einer jährlichen Schwankung des Potentialgradienten I von 77% des Mittels I und der entsprechenden Amplitude von 47% der Leitfähigkeit I. Es kann daher angenommen werden, dass eine Berücksichtigung streng normaler Tage aus einer vieljährigen Beobachtungsreihe diese Stromamplitude von rund 14% noch erheblich verkleinern würde.

Man beobachtet somit am Zugspitzgipfel im stationären Zustand über eine längere Zeitspanne eine merkliche Konstanz des Leitungsstromes.

Dieses Ergebnis eröffnet einmal die Möglichkeit kraft der Beziehung $J = V \cdot \lambda$ die Leitfähigkeitskurven zu der vorliegenden Registrierung des Potentialgradienten zu berechnen und bedingt ihren spiegelbildlichen Verlauf zum Spannungsgefälle und zum andern eröffnet es die Aussicht auf ein brauchbares Reduktionsverfahren der Gipfelmessungen auf die freie Atmosphäre in Zugspitzhöhe, wie in Abschnitt 11 gezeigt wird.

Die Messungen deuten schliesslich noch einen schwachen täglichen Gang des Leitungsstromes an. Die Mittel des Termins I sind in der Regel kleiner als die von Stunde II, während die Mittel III noch höher ausfallen. C. Dorno[7]) fand in Davos höhere Werte des Leitungsstromes in der Nacht, niedrigere am Tage; derselbe Sachverhalt besteht also wohl auch auf der Zugspitze.

Tabelle 2.

Jahresgang des Potentialgradienten, des Leitungsstromes und der Leitfähigkeit

Monat	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli
Termin												
					Potentialgradient in Volt/m.							
I	134.5	140.7	122.0	**96.0**	109.2	130.2	124.4	144.9	156.7	173.9	160.2	**204.9**
II	172.2	173.2	151.1	**118.7**	135.9	151.9	153.2	163.2	—	197.6	187.7	**224.8**
III	189.8	175.5	166.8	**136.2**	142.6	156.1						
					Leitungsstrom mal 10^{-16} in Amp./cm².							
I	6.08	6.79	6.75	6.07	6.53	6.20	6.33	6.67	6.60	6.50	6.34	6.97
II	6.32	6.32	7.15	6.79	7.02	6.88	—	7.05	—	6.72	6.79	6.26
III	6.75	6.23	7.30	7.49	6.54	7.03						
					Leitfähigkeit mal 10^{-5} in E.S.E./sec.							
I	42.76	45.98	52.73	**58.56**	54.72	55.27	54.01	50.51	47.08	41.71	46.06	**35.69**
II	37.40	41.83	48.48	**54.79**	53.86	53.92	49.00	46.78	—	34.01	38.00	**28.29**
III	38.66	41.43	47.29	**51.61**	50.30	53.07						

7. Die Leitfähigkeit.

Schliesslich wurde aus den Messungen des Potentialgradienten und des Leitungsstromes am Wilsongerät die Leitfähigkeit berechnet. Tabelle 2 enthält auch diese Werte und in Figur 4 sind wieder die λ-Kurven für die Termine I und II eingetragen.

Man ersieht sofort den spiegelbildlichen Verlauf der λ-Kurven zu den V-Kurven und auch, dass der über der V I-Kurve liegenden V II-Kurve eine unter der λ I-Kurve eingezeichnete λ II-Kurve entspricht.

Endlich enthält zum Vergleiche damit die Tabelle 3 die tägliche, die Tabelle 4 die jährliche Periode von Potentialgradient und Leitfähigkeit, und zwar diese in der vorhin besprochenen Weise unter Zugrundelegung eines konstanten Leitungsstromes von $J = 6{,}7 \times 10^{-16}$ Amp./qcm aus der Registrierung des Potentialgradienten berechnet.

Tabelle 3.

Täglicher Gang des Potentialgradienten und der Leitfähigkeit

Stunde M.E.Z.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Mittel
											Potentialgradient in Volt/m.														
	142.4	134.2	128.8	**126.9**	128.9	133.0	139.2	145.9	152.5	158.7	164.3	170.1	176.0	181.3	186.2	189.3	**190.1**	**190.1**	188.8	185.0	179.4	171.3	162.2	151.8	161.5
											Leitfähigkeit mal 10^{-5} in E.S.E./sec.														
	42.34	44.94	46.82	**47.52**	46.78	45.34	43.32	41.33	39.54	38.00	36.70	35.45	34.26	33.26	32.38	31.85	**31.72**	**31.72**	31.94	32.59	33.61	35.20	37.17	39.72	37.34

Tabelle 4.

Jahresgang des Potentialgradienten und der Leitfähigkeit

Monat	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli
					Potentialgradient in Volt/m.							
	156.6	154.4	137.1	**116.2**	129.3	155.1	148.7	162.6	177.3	188.1	189.7	**223.5**
					Leitfähigkeit mal 10^{-5} in E.S.E./sec.							
	38.51	39.05	43.98	**51.90**	46.64	38.88	40.55	37.08	34.01	32.06	31.79	26.98

Somit beobachtet man am Zugspitzgipfel eine einfache eintägige Periode der Leitfähigkeit mit dem Maximum um 4 Uhr M.E.Z. in spiegelbildlichem Verlaufe zum Potentialgradienten. Jedoch ist wegen des erwähnten täglichen Ganges des Leitungsstromes, der durch sein langsames Anwachsen im Laufe des Tages mehr mit dem Spannungsgefälle geht, eine geringere prozentuale Tagesschwankung der Leitfähigkeit zu erwarten als beim Potentialgradienten, was die Wilsonmessungen auch bestätigen.

Auch der Jahresgang der Leitfähigkeit verläuft auf Grund dieser Messungen spiegelbildlich zum Potentialgradienten und liefert damit die gleiche überraschende Tatsache eines Minimums im Sommer, eines Maximums im Winter ganz im Gegensatze zu den geläufigen Erfahrungen auf dem Festlande [9]) p 265 [10]) p 204 [11]) p 30.

Die Deutung dieses Sachverhaltes ist wohl die folgende: Eine Einsicht in die in den Jahrbüchern niedergelegten meteorologischen Zugspitzbeobachtungen lehrt, dass sich der Gipfel im Frühjahr und im Sommer im Wolkenniveau befindet und dementsprechend eine beträchtliche Zeitspanne länger als im übrigen Halbjahre in Dunst, Nebel und Wolkenluft gehüllt ist. Diese Tatsache allein bewirkt schon das Minimum der Leitfähigkeit im Sommer, wie die in Kapitel III bei den Störungen beobachteten meteorologischen Einflüsse eindrücklich zeigen. Im Herbst und Winter sinkt die Atmosphäre zusammen; durch lange Zeiträume ragt der Gipfel frei über einer dichten, hartnäckigen Hochnebeldecke in etwa 1500—2500 m empor, die häufig sogar noch dem Boden aufliegt (Herbst- und Winternebel im Flachland). Eine erhöhte Leitfähigkeit am Gipfel und eine erniedrigte im Alpenvorland ist die notwendige Folge. Wie gleich gezeigt wird, wird der Betrag des Potentialgradienten durch diese Einwirkungen entgegengesetzt beeinflusst wie die Leitfähigkeitswerte.

Verstärkend tritt nunmehr noch folgender Umstand hinzu, wie wieder unter Vorwegnahme der Ergebnisse des Störungskapitels leicht einzusehen ist: Eine Wolkenoberfläche stellt eine ausgeprägte luftelektrische Diskontinuitätsfläche dar. An ihr erfährt die Leitfähigkeit einen Sprung; sie sinkt im Nebel auf rund ein Fünftel ihres ursprünglichen Betrages; auch der Leitungsstrom bleibt stecken; er klingt im Nebel sofort auf etwa ein Fünftel seines Wertes oberhalb der Schicht ab. Eine mit positiver Raumladung erfüllte Oberflächenschicht ist die Folge. Im Herbst und Winter grenzt nun diese Oberfläche des Nebelmeeres durchschnittlich in 2000 m wie der Wasserspiegel eines Sees an das Zugspitzmassiv, dessen Gipfel dann ca. 1000 m über dieser Uferlinie liegt (siehe in Figur 1 das Niveau H). Während sich nun im Sommer dank des Steilanstieges der Berghänge am Gipfel eine hohe Oberflächenladung ausbilden kann (grosser Relieffaktor), die ein entsprechend starkes Feld bewirkt, wird im Winter diese Ladung beträchtlich geschwächt durch die Influenzwirkung der positiven Raumladungsschicht längs der Uferlinie der Hochnebeldecke. Ein kleinerer Potentialgradient am Gipfel ist das Ergebnis.

Nach der Art des beobachteten Jahresganges unterscheidet Benndorf zwei Gruppen von Stationen [9]) p 286. Die Gruppe A umfasst die Festlandstationen nördlich von 30 Grad N und südlich von 40 Grad S. Diese Orte zeichnen sich durch ein Maximum in der Nähe des Wintersolstitiums und durch ein Minimum nahe dem Sommersolstitium aus. Zwischen diesen Kappen der Erdkugel liegt der Gürtel der Stationen B, die keinen ausgesprochenen Jahresgang im mittleren Teil und am Nord- und Südrande davon einen der Gruppe A ausgeprägt entgegengesetzten Gang aufweisen.

Der Befund auf der Zugspitze ordnet diese der Gruppe B als vielleicht nördlichste Randstation zu (47° 25' N 10° 59' E).

Im Vergleiche dazu ist eine Eingliederung der Hangstation auf Muottas-Muraigl in rund 2500 m [8]) p 106 in dieses Schema wohl noch nicht ganz möglich, da C. Dorno für den Potentialgradienten zwar den Verlauf der Gruppe A, aber hierzu einen Jahresgang der Leitfähigkeit wie am Zugspitzgipfel findet.

Auch Messungen des Potentialgradienten auf dem Sonnblick, die J. Elster und H. Geitel 1890—93 durch P. Lechner ausführen liessen, ergaben einen schwachen jährlichen Gang mit einem auffallend niedrigen Novemberwert [12]) p 18. Soweit sich auf das geringe Material (es liegen nur 2073 Messungen auf 185 Tage verteilt vor) überhaupt eine Aussage stützen lässt, kann man eine direkte Übereinstimmung mit dem Zugspitzbefund herauslesen oder doch den Sonnblick zum mindesten dem mittleren Teil der Gruppe B zuordnen, was einer bedeutenden Verbreiterung der Gürtelzone mit wachsender Erhebung über dem Meere gleichkäme. Der wenig ausgeprägte Gang steht aber auch mit der Lage des Sonnblicks im Zentralblock der Ostalpen im Einklang (Zugspitze dagegen frei am Nordrande).

8. Die Raumladung.

Aus den Jahren 1924—26 liegen aber noch über 6000 Einzelmessungen der polaren Leitfähigkeiten $\lambda+$ und $\lambda-$ vor, und zwar ebenfalls bei nicht extrem gestörten Verhältnissen [1]) p 6. Jedoch beziehen sich diese Beobachtungen auf 1 m Abstand von der Blechhaut des Turmes in der Höhe des 1. Stockwerkes. Das Ergebnis war eine Gesamtleitfähigkeit von $\mathcal{A}_1 = 71{,}4 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec. aus $\lambda+ = 37{,}2 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec. plus. $\lambda- = 34{,}2 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec. und ein Verhältnis $\frac{\lambda+}{\lambda-} = 1{,}09$.

Die Messungen an der Schutzringplatte in der Ebene der Turmhaut lieferten aber ein $\mathcal{A}_0 = 37{,}3 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec.

Da beide Messorte 0 und 1 als in derselben Stromröhre gelegen angesehen werden dürfen, besteht die Möglichkeit einer Abschätzung der mittleren positiven Raumladung ϱ über der Turmhaut in der Höhe des 1. Stockes unter Zugrundelegung des aus den Wilsongerätmessungen berechneten Mittelwertes des Leitungsstromes von $6{,}7 \times 10^{-16}$ Amp./qcm und unter Benützung der Poissonschen Gleichung $-\frac{d^2 v}{dh^2} = 4\pi\varrho$.

Da für beide Orte 0 und 1 die Beziehung $J = V.\mathcal{A}$ erfüllt ist, wobei unter V bereits $\frac{dv}{dh}$ zu verstehen ist, so hat man also: an der Stelle 0 ein $V_0 = 161{,}5$ Volt/m, ein $\mathcal{A}_0 = 37{,}3 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec. an der Stelle 1 ein $V_1 = 84{,}5$ Volt/m, ein $\mathcal{A}_1 = 71{,}4 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec.

Hieraus resultiert sodann ein $V_0 - V_1 = 77$, was, in absoluten Einheiten ausgedrückt und in die Poissonsche Gleichung eingesetzt, für den Zugspitzgipfel einen mittleren Raumladungswert von

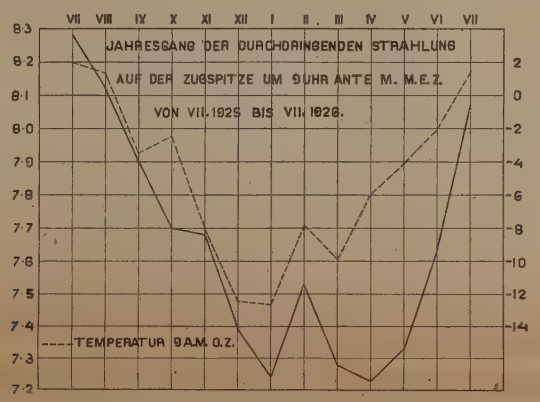
$$\varrho = + 0{,}02 \text{ E.S.E./cbm ergibt.}$$

Die Messungen im Freiballon liefern für die freie Atmosphäre in Zugspitzhöhe eine Raumladung von + 0,00016 E.S.E. im cbm, sodass also der Berggipfel rund eine Verhundertfachung dieses Wertes bewirkt, was durchaus einleuchtet. Anlässlich der Behandlung der Ionenführung der Gipfelluft (Abschnitt 10) wird noch festgestellt, dass diese Raumladung fast gänzlich den normalen Ionen allein zugeschrieben werden muss.

9. Die durchdringende Strahlung.

In dieses Kapitel gehört auch die Grösse und das Verhalten der durchdringenden Strahlung am Zugspitzgipfel, die von mir 1925/26 mit einem Wulfschen Strahler (zeitweise sogar 2 Instrumente) in dreizehnmonatigem Betriebe untersucht wurde[1]) p 2.

Das Instrument befand sich während der ganzen Messperiode unverändert am selben Platz, wurde täglich früh 7 Uhr stets zum selben Sättigungswert aufgeladen und täglich Punkt 8, 9 und 10 Uhr M.E.Z. abgelesen, so dass ein Mittelwert der Ionisation im geschlossenen Gefäss für 9 Uhr M.E.Z. gebildet werden konnte. Ein Versenkversuch im Staffelsee gestattete mir die Bestimmung der Eigenstrahlung des Instrumentes, so dass der Begriff „durchdringende Strahlung" hier ausser der Ultragammastrahlung (deren Erforschung zurzeit nur mit der Hoffmannschen Methode[13]) und neuerdings besonders verheissungsvoll mit Geigerschen Elektronenzählrohren[14]) aussichtsreich erscheint) noch die Gamma-Anteile der Erd- und Luftstrahlung mit ihren Sekundärwirkungen umfasst. Das Ergebnis ist in Tabelle 5 und Figur 5 niedergelegt.



Figur 5.
Die Ordinatenskala links gibt die Ionenpaare ccm/sec. an, die Skala rechts bezeichnet Celsiusgrade.

Tabelle 5.

		1925						1926						
		Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli
Durchdringende Strahlung 9a M.E.Z.	Ionenpaare in 1 ccm in 1 sec.	8.28	8.12	7.90	7.70	7.68	7.39	7.24	7.53	7.28	7.23	7.33	7.63	8.07
Zahl der Werte	n	30	62	58	124	120	124	122	105	118	106	49	54	48

Man beobachtet einen einfachen Jahresgang mit einem Maximum von 8,1 I im Sommer und einem Minimum von 7,2 I im Winter, somit eine Amplitude von nur 11,8% des Mittelwertes 7,64 I, wo I stets Ionenpaare in 1 ccm und 1 sec. bedeutet.

Nachdem Schwankungen der Ultragammastrahlung wegen ihrer Kleinheit zu ihrem einwandfreien Nachweis ein viel empfindlicheres Instrumentarium als hier verlangen, ist der beobachtete Gang als vollständig von der Erdstrahlung im Zusammenhang mit der Schneebedeckung des Gipfels diktiert zu betrachten, während die Höhenstrahlung einen jahrüber merklich konstanten Anteil von 3 — 4 I zur Gesamtionisation beisteuert.

Angesichts besserer Messmöglichkeiten sei nur nebenbei erwähnt, dass eine monatsweise Auftragung der Ionisation in Abhängigkeit vom Luftdruck im Mittel einen Luftdruckkoeffizienten von 5,5% für 10 mm Hg ergab. Die Ionisation wächst also um 5,5 %, wenn der Luftdruck um 10 mm Hg sinkt (Hoffmann erhielt am Muottas-Muraigl in ca 2500 m 4,9 %).

Mit Einbeziehung des Alpha-Anteiles der Ionisation, der hier nicht mit zur Messung gelangte, kann für die Gipfelluft eine durchschnittliche Gesamtionisation von 10 I wohl angesetzt werden, welcher Wert in der Bilanzbetrachtung des Abschnittes 10 benützt werden wird.

10. Die Ionenführung der Gipfelluft und die luftelektrische Bilanz.

An die vorliegenden Messungen lässt sich eine Abschätzung der Zahl der normalen Ionen in einem ccm Gipfelluft und die durch kleine Ionen bewirkte Raumladung knüpfen.

Die Leitfähigkeit λ, die fast ausschliesslich an die normalen Ionen gebunden ist, kann in der Form

$$\lambda = \lambda_+ + \lambda_- = \varepsilon (n_+ k_+ + n_- k_-)$$

angesetzt werden, wo n_+ und n_- die Zahl der positiven bzw. der negativen Ionen in 1 ccm und k_+ und k_- die entsprechenden mittleren Beweglichkeiten, schliesslich $\varepsilon = 4{,}77 \times 10^{-10}$ E.S.E. das Elementarquantum bedeuten.

Gerdien fand in 4000 m ein $k_+ = 3{,}2$ und ein $k_- = 3{,}5 \frac{cm}{sec} / \frac{Volt}{cm}$, somit noch $\frac{k_+}{k_-} = 0{,}92$ [10] p 209, [11] p 46.

Für die Zugspitze sei in erster Annäherung $n_+ = n_-$, $k_+ = k_- = 3{,}0 \frac{cm}{sec} / \frac{Volt}{cm}$ gesetzt und in der Nähe der Turmhaut ein $\lambda = 50 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec. angenommen. Diese Werte in

$$\lambda = 2 \cdot n \cdot \varepsilon \cdot k$$

eingesetzt, ergeben ein $2n = 1165$ oder rund 1200 normale Ionen beiderlei Vorzeichens in 1 ccm, entsprechend einer Elektrizitätsmenge von rund $0{,}60 \times 10^{-6}$ E.S.E. in 1 ccm, somit also derselbe Wert, wie er sich auf Grund einer Zusammenstellung der Messungen zahlreicher Stationen in der v. Schweidler-Kohlrauschschen Arbeit ergibt [10] p 207 auch [11] p 39.

Auch das durchschnittliche Verhältnis der positiven und negativen kleinen Ionen ist angebbar unter Zugrundelegung obigen $\frac{k_+}{k_-} = 0{,}92$ und des von mir gefundenen $\frac{\lambda_+}{\lambda_-} = \frac{n_+}{n_-} \cdot \frac{k_+}{k_-} = 1{,}1$.

Unter diesen Voraussetzungen spaltet sich das $2n = 1200$ in $n_+ + n_- = 655 + 545$. Der Unterschied von + 110 Ionen bedeutet eine positive Raumladung von + 0,048 E S.E./cbm, die also allein durch die normalen Ionen hervorgerufen wird.

Es wurde aber oben bereits auf anderem Wege für die gesamte Raumladung schon ein $\varrho = 0{,}02$ E.S.E. im Kubikmeter gefunden, sodass folgendes ausgesagt werden kann:

Die Zahl der normalen Ionen erscheint gegenüber den Befunden im Flachland nicht besonders erhöht. Die grosse Leitfähigkeit am Zugspitzgipfel wird also hauptsächlich durch die infolge des geringen Luftdruckes erheblich gesteigerte Beweglichkeit bewirkt.

Die Abschätzung der mittleren Raumladung führt auf zwei unabhängigen Wegen zu Werten von der gleichen Grössenordnung, und da der zweite, sich nur auf den Beitrag der normalen Ionen beziehende, den ersten, auf die Gesamtraumladung bezüglichen, noch übertrifft, kann dies als Hinweis darauf genommen werden, dass am Zugspitzgipfel in der reinen, kernarmen Luft die Raumladung zum grössten Teil vom Überschuss der kleinen positiven über die normalen negativen Ionen getragen wird. Hinsichtlich der Kernarmut ist die Gipfelluft der über weiten Meeresflächen verwandt [15], [16].

Die Bilanz: E. v. Schweidler [17] stellt für schwach ionisierte Luft, die auch Aitkensche Kondensationskerne enthält, die folgende Bilanzgleichung für den stationären Zustand auf:

$$\frac{dn}{dt} = q - \alpha \cdot n^2 - \gamma \cdot N \cdot n = 0,$$

wo n die Zahl der kleinen Ionen, N die Zahl der grossen Ionen plus Aitkenkerne, q die Ionisierungsstärke und t die Zeit bedeuten. Dabei umfasst das Glied $\gamma N n = b n$ die Prozesse der Anlagerung normaler Ionen an schwere entgegengesetzten Vorzeichens und kleiner Ionen an neutrale Kondensationskerne. Da der Wiedervereinigungskoeffizient α von der Grössenordnung $1{,}6 \times 10^{-6}$ also sehr klein ist und ebenso n nur von der Ordnung 1000, setzt v. Schweidler den Ausdruck $\alpha \cdot n + b = \beta = \text{const.}$ und heisst β die Verschwindungskonstante, sodass nun die Bilanzgleichung, die erfahrungsgemäss den tatsächlichen Verhältnissen ziemlich gerecht wird, folgendermassen lautet:

$$\frac{dn}{dt} = q - \beta \cdot n = 0.$$

Dieses sogenannte lineare Wiedervereinigungsgesetz fanden unabhängig von v. Schweidler auch J. Nolan und J. Enright [18] sowie auch A. D. Power [19].

Denkt man sich die Ionisation plötzlich unterbrochen, also $q = 0$, so klingt die Ionenzahl nach dem Ausdruck $n_t = n_0 \; e^{-\beta \cdot t}$ ab und man kann mit v. Schweidler in Analogie zum radioaktiven Zerfallsgesetz $\vartheta = \frac{1}{\beta}$ die mittlere Lebensdauer eines kleinen Ions in Sekunden nennen.

Auf der Zugspitze ist nun, wie oben gezeigt, $q = 10$ I ein annehmbarer Wert; ausserdem wurde $n = 1200$ erhalten. Aus der Gleichung $q = \beta \cdot n$ errechnet man daher ein $\beta = 8{,}3 \times 10^{-3}$ sec.$^{-1}$ oder ein $\vartheta = 120$ sec., was sich insoferne den schon vorliegenden Messungen über dem Festlande mit $\vartheta = 74$ sec. (bei $q = 9{,}5$ I und $n = 700$) und den neuerdings von V. F. Hess auf Helgoland erhaltenen Werten von der Grössenordnung $\vartheta = 250$ sec. (bei $q = 2$ I und $n = 500$, siehe auch Carnegiefahrten) gut einfügt, als dann die Zugspitzwerte wegen der freien Gipfellage zwischen den reinen Meeres- und Festlandbeobachtungen liegen. — Unter dem Stadteinflusse Innsbrucks hat W. Schlenk [20] ein $\vartheta = 15$ sec., A. D. Power am Meere $\vartheta = 170$ sec. gemessen.

Dass nach V. F. Hess [15] p 850 für sehr kernarme Luft als Bilanzgleichung weder das quadratische noch das lineare Wiedervereinigungsgesetz genau erfüllt ist, sondern ein dazwischenliegendes Gesetz gilt, fällt bei der Art obiger Schätzung nicht ins Gewicht.

11. Reduktion der Zugspitzmessungen auf die freie Atmosphäre.

Die Untersuchung ist nun so weit vorgeschritten, dass durch obige Überschlagsrechnungen bereits eine sinnvolle und harmonische Verknüpfung der unabhängig nebeneinander herlaufenden Messreihen der verschiedenen luftelektrischen Elemente erzielt wurde.

Alle Ergebnisse gelten zunächst nur für die beschriebene Messstelle. Es ist aber üblich, um die Angaben verschiedener Stationen überhaupt richtig vergleichen zu können, eine Reduktion auf gleiche Beobachtungsumstände vorzunehmen. Bei Messungen über dem Flachlande und dem Meere pflegt man z. B. den Potentialgradienten auf die freie Ebene bezogen anzugeben, unter der Annahme, dass das gleichzeitige Verhältnis der Feldstärken f_0 und f_1 des in der freien Ebene liegenden Ortes A_0 und dem gestörten Ort A_1 konstant ist, soweit es von der Oberflächenladung der Erde und der Bodengestaltung (Relief) abhängt. Tatsächlich tragen aber auch die Raumladungen der Luft zur beobachteten Feldstärke bei, wodurch noch ein zeitlich veränderlicher Faktor für die Vornahme einer genauen Reduktion erschwerend hinzutritt. Heisst man σ_0 die Oberflächendichte in A_0, soweit sie allein durch die Erdladung bewirkt ist und $\overline{\sigma_0}$ die durch die Raumladungen der Luft dazu influenzierte Flächendichte, so bedient man sich des Ausdruckes

$$\frac{f_0}{f_1} = \frac{\sigma_0 + \overline{\sigma_0}}{\sigma_1 + \overline{\sigma_1}} = \frac{\sigma_0}{\sigma_1} \cdot \frac{1 + \frac{\overline{\sigma_0}}{\sigma_0}}{1 + \frac{\overline{\sigma_1}}{\sigma_1}} = \zeta \cdot (1 + \varepsilon) = R$$

deshalb mit Erfolg, weil ε normalerweise nur sehr wenig um seinen Mittelwert schwankt, was zahlreiche Bestimmungen von R für eine bestimmte Aufstellung zeigen. Als auf die freie Ebene reduzierte Feldstärke in A_1 ist dann $R \times f_1$ zu setzen [9]) p 348 und [21]) p 600.

Bei der freien Gipfellage der Messstelle auf der Zugspitze kann der Einfluss der Raumladungen nicht mehr ohne weiteres nach obiger Weise in Rechnung gestellt werden, gerade dann nicht, wenn am Gipfel selbst sogenannte normale Verhältnisse herrschen, während sich tagsüber zugleich eine Hochnebeldecke zwischen 1000 m und 2000 m auf und ab bewegt, wobei sie, vermöge ihrer Raumladung in ihrer Oberflächenschicht, längs ihrer Uferlinie an den Bergwänden in veränderlicher Weise influenzierend wirkt.

Somit hat eine Reduktion der Zugspitzwerte auf die freie Ebene keinen direkten Sinn; auch eine experimentelle Bestimmung des Reduktionsfaktors an einem grossen Modell im Laboratorium in der K. Hoffmannschen Weise (München Dissertation der Technischen Hochschule 1911) verspricht hier keine besondere Genauigkeit.

Sinnvoller erscheint mir daher ein Reduktionsverfahren, das sich auf die beobachtete Tatsache einer merklichen Konstanz des Leitungsstromes im stationären Zustand über ein längeres Zeitintervall stützt. Ferner beruhen die Betrachtungen des Elektrizitätshaushaltes der Erde geradezu darauf, dass im stationären Zustand, bei der geringen Dicke der Lufthülle im Vergleich zum Erddurchmesser, die mittlere Leitungsstromdichte J in jeder Höhe h der Atmosphäre konstant sein muss und somit das Produkt $V_h \cdot \lambda_h = J$ überall denselben Wert hat.

Kennt man daher die Stromdichte J — und man kann auf Grund zahlreicher Messungen an vielen Orten rund den Wert 2×10^{-16} Amp./qcm annehmen —, so ist nur noch die Messung der Leitfähigkeit an einem Orte notwendig, um den Potentialgradienten aus der Beziehung $J = V \cdot \lambda$ für die betreffende Höhe anzugeben, womit im Falle der Zugspitze eine Reduktion auf die freie Atmosphäre in gleicher Höhe vollzogen ist.

Am Gipfel wurde eine mittlere Leitfähigkeit von $\lambda = 71{,}4 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec. in 1 m Entfernung von der Turmwand festgestellt. Bei obigem Leitungsstrom von $J = 2 \times 10^{-16}$ Amp./qcm ergibt dies für die freie Atmosphäre in Zugspitzhöhe einen Potentialgradienten von $V = 25{,}2$ Volt/m in guter Übereinstimmung mit dem aus Freiballonmessungen gewonnenen Werte [10]) p 252. Bei $\lambda = 100 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec., einem Mittelwert, der in grösserer Entfernung vom Turm sehr wahrscheinlich ist, und demselben J wird $V = 18{,}0$ Volt/m.

III.

Die Abweichungen vom normalen Verhalten.

12. Typische Potentialgefällregistrierungen.

Gegenstand dieses Kapitels ist die Besprechung der Tabelle 6 mit dem Ziele, schliesslich jede Abweichung eines luftelektrischen Elementes vom normalen Verhalten überzeugend zu erklären. Tabelle 6 stellt einen Auszug aus dem gesamten Beobachtungsmaterial dar, der sich aber durchaus nicht allein auf die typischen Fälle beschränkt, wenngleich diese die einzelnen Störungswirkungen zunächst am klarsten zeigen, wie auch die Figur 6 bezüglich des Potentialgradienten lehrt.

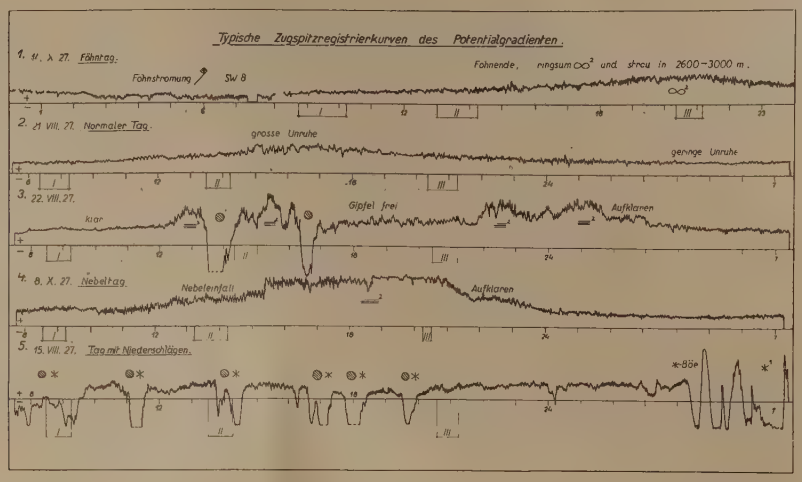
Figur 6 ist getreu nach den Originalregistrierungen von mir durchgepaust und zeigt unter anderem die täglich viertelstündige Null-Lage zwischen 7 und 8 Uhr und vor allem durch die mit I, II und III bezeichneten Stücke der Null-Linie diejenigen Kurventeile, zu denen noch Messreihen am Wilsongerät, also noch drei weitere luftelektrische Elemente vorliegen.

Ein Blick über die fünf Kurven des Spannungsgefälles zeigt folgendes:

Kurve 2 ist ein Normaltag mit dem oben besprochenen einfachen Tagesgang; ohne weiteres bemerkt man hier auch noch einen typischen Verlauf der Unruhe des Potentialgefälles, sicher im Zusammenhang mit der Turbulenz oder besser dem W. Schmidtschen Austausch mit dem Maximum am Nachmittag und dem Minimum in der Nacht.

Kurve 1 zeigt im Teile der Föhnströmung bei SW 8 eine erhebliche Depression unter den mittleren Gang, nach Föhnzusammenbruch aber, als am Gipfel starker Dunst beobachtet wird und ringsum Stratokumulusbildung, teilweise in Gipfelhöhe, im Gange ist, eine beträchtliche Erhöhung über den gewöhnlichen Verlauf, womit die Wirkung von Wind und Dunst gekennzeichnet ist.

Kurve 3 ist die unmittelbare Fortsetzung der Kurve 2 und stellt einen Witterungsumschlag zum Schlechten mit Nebel und Regen dar; in der Nacht zum 23. August klart es wieder auf. Man sieht die Nebelwirkung in der mehr als



Figur 6.

100prozentigen Erhöhung des Potentialgradienten; man bemerkt die Feldumkehr bei Niederschlägen, dann wieder den Nebeleinfluss und schliesslich die typische Aufklarungskurve. Diese und die zu ihr spiegelbildliche des Nebeleinsatzes zeigt noch besser die Kurve 4, bei der auch die Zwischenstufen zum Ausdruck kommen, ein Zeichen dafür, dass vor und nach Nebel ein Stadium unsichtbaren Wolkendunstes durchlaufen wird.

Schliesslich hat man in Kurve 5 den typischen Verlauf des Potentialgradienten auf der Zugspitze bei Niederschlägen. Man darf es direkt als häufig befolgte Regel bezeichnen, dass Niederschläge (◍, ✳, △) mit einer Feldumkehr einhergehen; am rechten Ende ist der Durchzug einer Schneeböe mit eingelagerten Frontzacken registriert.

Ganz unabhängig von dieser Untersuchung wurden die eingezeichneten Tage im Jahrbuch Bayern 1927 schon längst so beschrieben: 1. Der 14. November 1927: Nachts und tagsüber Föhnströmung, stürmisch, ringsum Lenticularisgewölk, über Zentralkette Föhnmauer, Bewölkungsschwankungen (cistr, altostr. aus W rasch ziehend); mittags zeitweise gut ausgebildeter Sonnenring, 18 Uhr irisierende Wolken im W; abends ringsum starker Dunst und Stratokumuli: im N in ca 2600 m, im S in ca 3000 m.

2. Der 21. August 1927: Ante m. über Vorland und im Inntal schwacher Dunst; mittags Zentralkette im SE in Wolken; tagsüber leichte Bewölkungsschwankungen (cistr aus W langsam ziehend), zeitweise kurz Sonnenring; Sicht nach N besonders rein.

3. Der 22. August 1927: Ante m. über Vorland und in den Tälern Dunst und stellenweise Stratus in ca 2300 m, 12.30 — 18.30 Uhr starker Nebel, 13.05 Regentropfen, 13.10 — 13.55 mässig starker Regen, elektrische Ausstrahlung; abends ringsum Stratus in 2600 m.

4. Der 8. Oktober 1927: Ante m. ringsum Stratus: über Vorland in ca 1800 m, im SE in ca 2600 m, tagsüber sich langsam hebend; 16.30 Uhr bis nachts starker Nebel, Rauhfrostansatz.

5. Der 15. August 1927: Nachts Regen, um 6 Uhr übergehend in Schnee, tagsüber Nebel, zeitweise Regen vermischt mit Schnee.

Beim Vergleich ist zu berücksichtigen, dass die Stundenzahlen in Figur 6 M.E.Z. sind, während die Jahrbuchangaben nach Ortszeit erfolgen.

13. Störungsmessungen mit dem Wilsongerät.

Diese störenden meteorologischen Einflüsse wurden auch am Wilsongerät gemessen, das also die Wirkungen auf vier luftelektrische Elemente erkennen lässt.

Auf Grund der Beschaffenheit des Wilsongerätes, das bei jeder Einzelmessung eine σ-Menge und eine i-Menge liefert (s. Abschnitt 4), sind von vorneherein folgende vier Möglichkeiten zu erwarten:

1. eine positive σ-Menge und eine positive i-Menge,
2. eine negative σ-Menge und eine negative i-Menge,
3. eine negative σ-Menge und eine positive i-Menge,
4. eine positive σ-Menge und eine negative i-Menge,

wobei die σ-Menge positiv (negativ) heisse, wenn ihr ein positiver (negativer) Potentialgradient entspricht und die i-Menge als positiv (negativ) bezeichnet werde, wenn zu ihr ein positiver (negativer) Leitungsstrom gehört.

Der Besprechung dieser vier Fälle gehe nunmehr die folgende Tabelle 6 voraus.

Tabelle 6.

Termin	Datum	Σ $\times 10^{-5}$ E.S.E. cm^2	V Volt m	J $\times 10^{-16}$ Amp. cm^2	A $\times 10^{-5}$ E.S.E. sec.	Bemerkungen
I	August		135	6.1	42.8	Mittel I.
	1.	-31.5	119	5.0	37.7	W 3 3^1 ⊙ 74.
	2.	-29.2	110	5.3	43.4	SE 3 2^1 ⊙ 82.
	3.	-22.5	85	4.6	48.3	SE 3 0 ⊙ 93.
		-41.8	158	1.0	5.6	SE 3 ≡.
	4.	-27.8	105	5.9	50.8	S 4 4^1 ⊙ 85.
	5.	-41.2	155	1.2	6.8	NW 4 ≡.
	6.	-49.4	186	7.1	34.2	N 2 3^0 ⊙ 69.
	7.	-30.7	116	3.9	30.7	SE 4 $10^{1.2}$ $\equiv^0$ 96.
	8.	-27.8	105	6.3	54.1	SW 4 0 ⊙ 67.
	9.	-31.4	118	5.9	44.6	W 3 8^1 93.
	10.	-34.7	131	3.3	22.7	W 3 2^1 ⊙ 94.
	11.	-31.6	119	5.0	38.0	W 4 2^1 ⊙ 91.
	12.	59.4	-224	-2.2	8.9	SW 3 ◍^{1} ✳^{1}.
		-43.0	162	1.5	8.5	SW 3 ≡.
	13.	-57.9	218	3.1	12.8	NW 2 meist ≡.
	14.	-36.5	138	4.5	29.2	NW 3 10^2 95.
	15.	38.3	-144	-2.7	16.8	NW 4 ≡ ◍ ✳.
	16.	-98.6	372	32.3	78.3	✳ treiben aus N positiv.
	17.	-39.7	150	6.6	39.8	W 3 str 2500 m.
	18.	-31.5	119	6.7	50.5	SE 4 1^1 ⊙ 78.
	19.	9.3	-35	-1.5	38.5	△.
		-19.9	75	2.0	24.0	N 3 $\equiv^{0.1}$.
	20.	-88.3	333	3.0	8.0	NW 4 ≡.
				17.4	47.2	✳ treiben böig.
	21.	-22.9	87	4.2	44.0	W 6 8^0 ⊙ 93.
	22.	-31.0	117	6.8	52.5	S 5 9^1 74.
	23.	-39.0	147	7.3	44.7	S 5 9^1 81 str 2600 m.
	24.	-25.6	97	5.1	47.9	S 8 9^1 94 Föhn.
	25.	-39.5	149	1.1	6.4	N 3 ≡.
	26.	-37.8	143	4.8	30.2	N 2 ≡ böig, ✳ treiben.
	28.	-29.7	112	5.5	44.4	N 2 1^1 ⊙ 95.
	29.	-34.5	130	6.6	45.5	W 2 0 ⊙ 42.
	30.	-31.6	119	5.5	41.3	N 3 0 ⊙ 50.
	31.	-36.9	139	6.7	43.3	SE 3 0 ⊙ 75.
			135	6.1	42.8	Mittel I.
II	August		172	6.3	37.4	Mittel II.
	2.	-68.2	257	3.7	12.9	meist ≡.
	3.	-27.7	104	3.9	33.3	ztw. ≡ sonst S3, 80.
	6.	-46.9	177	7.3	37.2	SW 2 2^0 ⊙ 67.
	7.	80.0	-302	-12.8	38.0	◍^{1} Böe.
		-54.1	204	9.7	42.9	vorher.
	9.	60.4	-228	-0.6	2.2	N 2 ≡ ◍^{1}.
	12.	-80.7	304	5.6	16.7	W 3 ≡.
	13.	-57.9	218	5.6	23.2	W 2 ≡.
	18.	-30.7	116	5.1	40.0	S 5 3^1 ⊙ 82 Föhn.
	19.	-30.0	113	1.4	11.5	W 3 ≡.
	22.	-63.5	239	2.8	10.5	SW 2 ≡.
	23.	-39.8	150	4.8	28.7	C str: 3000 m $\equiv^{0.1}$.
	24.	-50.0	189	6.4	30.8	SE 3 normal.
				1.8	8.5	≡.
	25.	-47.0	177	6.4	32.6	NW 2 normal.
	26.	-51.0	196	-1.6	7.2	✳ treiben negativ und ≡.
	27.	-42.7	161	1.0	5.4	≡.
				7.6	42.4	✳ treiben positiv.
	29.	-59.6	225	9.8	39.3	N 1 0 ⊙ 70.
	30.	-55.8	210	7.5	32.1	SE 2 0 ⊙ 65.
	31.	-48.2	182	6.2	30.8	E 2 3^1 ⊙ 70.
			172	6.3	37.4	Mittel II.
III	August		190	6.8	38.7	Mittel III.
	2.	-91.0	343	9.0	23.7	ringsum ◹, S 2 10^1.
	3.	-66.3	250	7.7	27.7	NW 2 0 80.
	4.	-40.6	153	0.9	5.6	NW 3 ≡.
		-44.3	167	5.3	28.7	nachher.
III	August		190	6.8	38.7	Mittel III.
	5.	-46.1	174	8.1	41.7	SW 4 0 82.
	6.	-87.2	329	13.5	37.0	ringsum ◹.
	8.	-66.5	251	1.2	4.3	≡.
		-35.8	135	8.7	58.2	S 5 5^1 86 nachher.
	9.	-33.3	126	1.4	10.2	NW 4 ≡.
	12.	-48.6	183	1.4	6.8	NW 3 ≡.
	14.	-40.1	151	1.8	10.6	W 4 ≡.
		-39.3	148	9.4	32.3	nachher.
	15.	-37.3	141	4.9	31.6	≡ aber Zenit klar.
	16.	-32.4	122	16.4	120.9	N 5 ✳ treiben positiv.
	19.	-68.8	259	37.3	129.4	W 5 ✳ treiben positiv.
	22.	-58.0	218	10.2	41.9	str 2500 m 0 SW 6.
	23.	-65.8	248	10.1	36.7	str 3000 ≡ Zenit klar 0 SW 5.
	27.	-55.8	210	1.6	6.7	≡.
				8.4	36.0	✳ treiben positiv.
	28.	-50.0	189	8.0	38.2	N 3 0 60.
	29.	-54.9	207	9.9	43.1	N 3 0 80.
	30.	-67.3	254	9.6	34.1	E 4 0 70.
	31.	-61.6	232	10.1	39.1	SE 4 0 80.
			190	6.8	38.7	Mittel III.
I	September		141	6.8	46.0	Mittel I.
	1.	-30.9	116	7.4	57.3	SE 4 1^1 ⊙ 45.
	2.	-55.9	211	9.4	40.0	N 2 0 ⊙ 15.
	3.	-59.1	223	9.3	37.4	NW 2 0 ⊙ 47.
	5.	29.1	-110	-3.6	29.2	✳^{0} C 10^2 96.
	8.	-3.9	15	-186.4	1140.5	✳^{1}, ◍ tropfen $\equiv^1$ N 2.
	9.	-116.7	440	2.5	5.1	NE 2 ≡.
	10.	-29.7	112	1.0	7.8	NW 6 ≡.
				-3.1	25.2	◍^{0}.
	11.	-48.9	184	6.0	29.3	SE 6 fr-str i. 3000 m.
	13.	-40.2	152	0.5	3.0	NW 4 ≡.
				-2.8	16.3	✳.
	14.	-22.3	84	4.8	50.8	SW 8 4^1 78 Föhn.
				9.3	99.9	✳ fegen positiv.
	16.	-30.7	116	8.1	62.6	S 6 9^1 81 Föhn.
	17.	-63.9	241	78.1	291.6	NW 5 ✳ $^{0.1}$, ✳ treiben ≡.
	19.	-5.2	20	50.6	236.9	N 10 ◍^{1} ≡.
	22.	-30.1	114	7.5	59.7	SW 4 8^1 68 föhnig.
	24.	-30.6	115	6.4	49.8	S 8 6^1 92 Föhn.
	26.	-28.0	106	6.6	55.9	S 3 6^1 ⊙ 100 föhnig.
	27.	-47.5	179	3.1	15.6	NW 3 meist ≡.
	30.	-33.6	127	7.8	55.1	W 2 8^1 80.
				1.6	11.4	≡.
			141	6.8	46.0	Mittel I.
II	September		173	6.3	41.8	Mittel II.
	1.	-55.5	209	7.1	30.7	SE 2 1^1 ⊙ 82.
	2.	-61.9	233	6.7	25.9	SE 1 2^1 ⊙ 74.
	3.	-65.8	248	9.5	34.5	SW 2 3^1 ⊙ 62.
	4.	-44.1	166	2.8	15.3	SE 1 $\equiv^{0.2}$.
	8.	-29.9	113	-5.8	46.1	N 2 ◍^{1} ✳^{1} ≡.
	9.	-61.4	232	4.0	15.6	N 29^1 89 str i. Gipfelhöhe z.w. ≡.
	13.	-70.9	267	3.4	11.3	SW 3 ≡.
	14.	-30.4	115	5.3	41.9	SW 4 5^1 ⊙ 100 Föhn.
	17.	-33.4	126	0.7	5.2	NW 4 ≡.
	21.	-47.0	177	9.4	47.8	S 3 0 ⊙ 70.
	23.	-68.9	260	8.5	29.4	SW 7 ≡ Zenit klar.
	24.	-34.3	129	8.4	58.6	S 5 9^2 89 Föhn.
	26.	-55.6	210	9.0	38.5	S 3 zwischen 2 str decken.
	28.	-19.2	72	1.6	20.0	S 3 ≡.
		45.8	-173	-1.8	9.1	✳^{0}.
	30.	-54.1	204	5.4	23.8	C ≡ Zenit klar.
			173	6.3	41.8	Mittel II.

Termin	Datum	Σ $\times 10^{-5}$ E.S.E. cm^2	V Volt m	J $\times 10^{-16}$ Amp. cm^2	A $\times 10^{-5}$ E.S.E. sec.	Bemerkungen
III	September		175	6.2	41.4	Mittel III.
	1.	-75.3	284	10.1	32.0	NW 2 o 69.
	2.	-80.2	302	10.3	30.6	N 2 o 51.
	3.	-68.5	258	10.8	37.7	NW 2 4^1 69.
	5.	-56.5	212	9.4	39.9	NW 1 4^1 80.
	13.	-38.8	146	7.3	44.9	W 8 o 85.
				33.7	207.4	✳ fegen positiv.
	17.	-29.5	111	6.7	54.2	W 5 7^1 100.
				17.2	139.1	✳ fegen positiv.
	22.	-30.2	114	8.0	63.2	S 6 9^2 87.
	23.	-41.9	158	10.0	56.8	S 7 7^1 75.
	24.	-46.5	175	3.6	18.3	S 4 ≡.
	26.	-76.5	288	5.8	17.9	S 2 ≡ Zenit frei.
	27.	-55.6	210	3.9	16.7	NW 2 meist ≡.
			175	6.2	41.4	Mittel III.
I	Oktober		122	6.8	52.7	Mittel I.
	1.	-53.3	201	8.4	37.4	C 5^1 70.
	3.	-28.2	106	1.5	12.5	NW 6 ≡.
	4.	-30.5	115	5.4	42.6	W 3 1^1 75 str in 1600–2100 m.
	5.	-25.5	96	3.8	35.9	NW 3 o ⊙ 22 str in 2200 m.
	6.	-38.9	147	4.3	26.6	N 4 o ⊙ 56.
	8.	-35.1	132	18.6	126.7	N 5 1^1 ⊙ 35 ✳ fegen positiv.
	17.	-35.5	134	2.6	17.4	W 3 ≡.
	18.	-29.0	109	5.6	46.4	W 5 o 78 str in 2000 m.
	19.	-34.0	129	6.3	43.9	SW 6 o ⊙ 81 str in 2400 m.
	22.	-29.3	111	7.8	63.4	SE 3 10^1 34.
				8.9	72.4	mit Steinstaub positiv.
II	Oktober		151	7.2	48.5	Mittel II.
	1.	-101.2	382	5.9	14.0	E 2 3^1 ⊙ 70.
	3.	-30.1	114	2.0	15.6	NW 6 ≡.
	5.	-42.9	162	5.1	28.6	N 4.
				2.1	11.8	≡.
	8.	-61.5	232	11.3	43.8	N 3 o ⊙ 24 str in 2600 m.
	22.	-24.3	92	8.5	83.2	SE 8 10^2 89.
				9.3	91.4	mit Steinstaub positiv.
	30.	-52.3	197	11.4	52.2	C o ⊙ 48.
III	Oktober		167	7.3	47.3	Mittel III.
	2.	-45.0	170	1.3	6.8	NW 3 ≡.
	5.	-68.7	259	1.5	5.3	N 4 ≡.
	6.	-52.9	199	8.9	40.2	N 5 8^1 19.
	8.	-101.5	383	5.2	12.3	SE 3 ≡ Zenit frei.
	11.	-65.9	248	13.7	49.6	N 3 o 40.
	12.	-55.7	210	9.0	38.7	NW 2 o 68 str in 1400 m.
	29.	-44.1	166	11.5	62.1	N 1 o 21.
				13.1	71.1	mit Steinstaub.
I	November		96	6.1	58.6	Mittel I.
	1.	-41.8	158	2.7	15.4	N 2 ≡.
	6.	-22.9	86	6.8	70.4	SW 7 o ⊙ 32.
	8.	-17.4	66	3.6	49.5	SE 9 10^1 93.
	9.	-18.1	68	6.1	80.6	S 11 9^1 84 etwas Staub.
	15.	-32.3	122	5.9	43.7	N 3 o 60 ∞.
	16.	-369.3	1392.3	306.4	198.1	NW 3 ≡ $✳^1$, ✳ treiben.
	18.	-15.7	59	-7.7	119.5	W 4 ✳ fegen (+ u. —).
	19.	-30.2	114	-59.7	471.6	SW 5 ✳ fegen (+ u. —).
	21.	-26.6	100	5.9	52.6	SW 4 4^1 95.
				15.8	141.6	mit Steinstaub positiv und
				-6.4	57.6	Schneestaub.
II	November		119	6.8	54.8	Mittel II.
	7.	-29.7	112	7.9	63.8	S 8 10^1 85.
				11.8	94.9	mit Steinstaub.
	15.	-50.3	190	8.0	37.8	N 2 o ⊙ 41.
	16.	-53.9	203	29.4	130.4	NW 4 ≡ ✳ fegen.
	17.	-75.1	283	3.4	10.9	W 5 ≡ $✳^{1-2}$, ✳ treiben.

Termin	Datum	Σ $\times 10^{-5}$ E.S.E. cm^2	V Volt m	J $\times 10^{-16}$ Amp. cm^2	A $\times 10^{-5}$ E.S.E. sec.	Bemerkungen
II	November					
	20.	-24.1	91	3.6	35.5	S 6 10^2 92.
				-4.1	41.0	✳ und Steinstaub.
	21.	-30.7	116	2.4	19.0	S 4 meist ≡.
III	November		136	7.5	51.6	Mittel III.
	1.	-51.5	194	8.3	38.6	W 3 o 70 str in 2200 m.
	9.	-29.1	110	7.9	64.9	S 8 5^1 91.
	14.	-59.3	224	6.6	26.4	N 3 str in 3000 m ≡ Zenit klar.
	15.	-43.4	164	7.6	41.9	NW 3 o 90.
				9.1	50.3	✳ fegen positiv.
	18.	-19.3	73	-9.7	119.5	W 7 o 72 ✳ fegen negativ.
	19.	-48.5	183	-20.1	99.0	SW 5 3^1 83 ✳ fegen negativ.
	20.	-67.8	256	-2.8	9.9	SE 8 ≡ ✳ und Steinstaub.
	25.	-41.9	158	8.9	50.8	SW 1 o 46.
I	Dezember		109	6.5	54.7	Mittel I.
	4.	-18.9	71	5.9	75.1	S 8 1^1 82 Föhn.
	11.	-42.6	161	2.9	16.2	NW 6 ≡.
	13.	-47.5	179	3.2	15.9	NW 2 ≡.
	28.	-33.0	124	6.3	45.2	E 4 $≡^0$ Zenit klar.
II	Dezember		136	7.0	53.9	Mittel II.
	8.	-46.4	175	10.7	54.9	SW 1 4^0 ⊙ 80.
	13.	-74.4	281	4.6	14.8	NW 2 ≡.
	23.	-27.6	104	7.2	62.5	W 5 o ⊙ 87 Föhn.
	24.	-7.5	28	6.2	197.1	W 6 ✳ Böe.
		13.9	-52	-4.1	70.6	
III	Dezember		143	6.5	50.3	Mittel III.
	3.	-19.9	75	6.4	76.6	S 5 2^1 75.
	4.	-20.9	79	5.6	63.8	S 7 7^0 85.
	5.	-28.5	107	8.4	70.5	S 5 1^1 81.
	6.	-27.1	102	7.0	61.4	SE 6 9^1 100.
	7.	-21.5	81	6.7	74.3	S 5 3^1 75.
	10.	-44.8	169	9.7	51.5	NW 3 o 80.
	11.	-41.1	155	9.4	54.9	W 4 o 80.
	12.	-25.4	103	18.8	163.8	SW 4 $✳^{0-1}$ positiv.
	19.	-44.2	167	8.8	47.3	W 3 o 66.
	20.	-47.2	178	3.1	15.7	W 2 ≡.
I	Januar		130	6.2	55.3	Mittel I.
	4.	-15.7	59	4.7	71.4	SW 5 8^1 87.
	20.	-48.2	182	6.2	30.8	N 1 o 55.
	26.	-20.0	75	6.7	80.2	C o 42.
	28.	-29.0	109	9.2	75.7	S 5 o 100.
	30.	-16.9	64	6.5	91.4	SE 6 8^1 50 föhnig.
	31.	-54.1	204	2.8	12.4	N 3 ≡.
				4.9	21.6	✳ treiben.
II	Januar		152	6.9	53.9	Mittel II.
	2.	-23.6	89	7.1	71.6	SE 3 o ⊙ 29.
	8.	-30.4	115	7.1	60.0	W 6 8^1 90.
	20.	-77.8	293	10.0	30.7	N 2 o ⊙ 66.
	27.	-29.0	109	8.1	67.0	S 4 4^1 92 Föhn.
	28.	-30.5	115	9.3	73.0	SW 6 o ⊙ 93 Föhn.
	30.	-21.6	81	5.1	56.8	SE 6 8^1 50.
				12.1	133.5	✳ fegen.
III	Januar		156	7.0	53.1	
	2.	-28.0	106	8.1	68.9	W 2 o 30.
	3.	-22.5	85	5.9	62.8	W 3.
				2.8	29.5	$≡^{0-1}$.
	8.	-31.2	118	3.4	25.9	NW 4 ≡.
				7.4	56.7	$✳^{0-1}$ positiv.
	21.	-45.0	170	11.2	59.4	N 3 o 70.
	22.	-45.4	171	9.5	49.8	W 2 o 80.
	30.	-22.5	85	6.3	66.3	SE 4 7^1 50.

Termin	Datum	Σ $\times 10^{-5}$ E.S.E. cm^2	V Volt m	J $\times 10^{-16}$ Amp. cm^2	Λ $\times 10^{-5}$ E.S.E. sec.	Bemerkungen
III	Januar					
	31.	-49.2	186	2.4	11.9	N 1 ≡.
				8.0	38.7	Gipfel frei.
I	Februar		124	6.3	54.0	Mittel I.
	22.	-28.4	107	4.9	41.1	N 6 0 25.
	25.	-15.0	57	5.6	89.7	E 8 0 40.
II	Februar		153	7.0	48.3	Mittel II.
	3.	-43.4	164	9.7	53.5	C 0 ⊙ 65.
	5.	-19.3	73	12.1	150.1	W 5 5^1 46.
				40.7	503.3	✳ fegen positiv.
	21.	-46 3	175	8.6	44.5	N 2 0 ⊙ 30.
I	März		145	6.7	50.5	Mittel I.
	13.	-15.3	58	6.1	95.3	S 5 0 ⊙ 90.
	15.	-46.1	174	10.0	51.8	C 10^0 90 str in 2200 m.
	16.	-38.7	146	8.3	51.1	N 3 0 ⊙ 70 str in 1600 m.
	19.	-46.0	173	6.6	34.2	N 2 0 ⊙ 34 ∞².
	20.	-47.0	177	8.1	40.9	N 2 0 ⊙ 31 ∞².
	21.	-13.4	51	2.9	51.0	S 7 5^1 ⊙ 90 Föhn.
	22.	-16.9	64	5.6	79.6	S 5 9^1 70 Föhn.
	24.	-31.5	119	6.0	45.7	E 2 10^1 100.
				-12.1	92.0	≡ ✳$^{0-1}$ negativ.
II	März		163	7.1	46.8	Mittel II.
	15.	-50.3	190	2.3	10.8	NW 3 ≡.
	16.	-47.8	180	8.9	44.3	E 3 0 ⊙ 60.
	19.	-46.4	175	7.7	39.7	C 0 ⊙ 63.
	20.	-48.3	182	5.1	25.3	SE 2 2^1 ⊙ ∞².
	26.	-44.9	169	5.4	28.9	SE 4 Gipfel frei.
				2.2	11.7	≡.
I	April		157	6.6	47.1	Mittel I.
	21.	-30.3	114	5.6	44.2	S 4 5^1 ⊙ 98.
	26.	-48.4	183	8.7	42.7	NW 3 0 ⊙ 100.
I	April					
	29.	-29.2	110	5.7	46.6	SE 8 3^1 ⊙ 98.
I	Mai		174	6.5	41.7	Mittel I.
	5.	-67.9	256	6.6	23.1	C Gipfel frei.
				2.3	8.1	≡
	19.	-32.9	124	5.6	40.9	SW 4 0 ⊙ 89.
	29.	-51.3	193	6.1	28.4	N 3 3^1 ⊙ 55.
	31.	-62.5	236	4.5	17.1	NW 1 Gipfel frei.
				1.8	6.7	≡
I	Juni		160	6.3	46.1	Mittel I
	7.	-22.9	86	5.9	61.7	S 9 10^1 82.
	10.	-20.1	76	5.5	65.6	S 7 11^1 ⊙ 61.
	15.	-43.8	165	2.9	15.9	SW 4 ≡.
	30.	-44.4	167	7.7	41.5	SW 3 0 82.
II	Juni		188	6.8	38.0	Mittel II.
	3.	-53.0	200	6.6	29.9	N 2 11^1 ⊙ 70.
	10.	-23.6	89	5.7	57.6	S 5 4^1 ⊙ 67.
	23.	-58.3	220	9.3	38.1	N 2 3^1 ⊙ 65.
I	Juli		205	7.0	35.7	Mittel I.
	9.	-63.0	238	9.3	35.0	W 2 0 ⊙ 80.
	10.	-68.2	257	7.2	25.2	NW 2 ≡ Zenit frei.
	11.	-56.1	212	8.0	34.2	NE 1 5^0 ⊙ 90 str in 2400 m.
	12.	-53.2	201	10.4	46.9	C 0 ⊙ 60.
	13.	-68.3	258	8.7	30.4	NE 1 0 ⊙ 56 ∞¹.
	14.	-43.7	165	2.3	12.3	NW 2 ≡.
	19.	-52.9	199	3.9	17.7	NW 4 meist ≡.
	25.	-38.1	144	1.4	8.7	NW 4 ≡.
	28.	-30.4	115	7.0	55.2	SW 7 3^1 ⊙ 67.
II	Juli		225	6.3	28.3	Mittel II.
	9.	-74.6	281	8.3	26.6	NW 1 10^1 100.
	11.	-69.1	261	8.5	29.4	SW 1 11^1 ⊙ 73.

Fall 1.

Fall 1 ist der durchaus normale und zeitlich überwiegende; alles in Kapitel II Vorgetragene ist diesem Fall unterstellt, denn ihm entspricht ein positiver Potentialgradient V über einer negativen Oberflächenladung $-\Sigma$ und ferner ein nach abwärts gerichteter Leitungsstrom J, der in den Tabellen mit dem positiven Vorzeichen versehen wurde. Bei der Gesamtleitfähigkeit, wie sie aus den Wilsonmessungen durch Rechnung erhalten wird, ist ein bestimmtes Vorzeichen ohne Bedeutung; von Interesse ist lediglich ihr Betrag.

In diesen Abschnitt einschlägig sind nun die Fälle sehr grosser und sehr kleiner positiver Beträge des Potentialgradienten V, des Leitungsstromes J und der Leitfähigkeit Λ; von der gesonderten Betrachtung der Oberflächenladung Σ kann Abstand genommen werden, da sie sich nur durch einen konstanten Faktor und das entgegengesetzte Vorzeichen vom Potentialgradienten unterscheidet.

Ein sehr hohes V, d. h. ein den zugehörigen Monatsmittelwert beträchtlich übersteigendes V beobachtet man nach Tabelle 6 bei Nebel und antizyklonaler atmosphärischer Zirkulation, die bekanntlich durch hohen Luftdruck, schwachen Wind, heiteren Himmel und niedrige relative Feuchtigkeit ausgezeichnet ist. Die Tabelle 6 enthält dafür folgende Belege:

Nebel: August I: 3. 5. 12. 13. 20. 25. II: 2. 12. 13. 22. 26. III: 8. 23. 27. September I: 9. 13. 17. 27. II: 13. 23. 30. III: 26. 27. Oktober II: 5. 8. November I: 1. II: 16. 17. III: 14. 20. Dezember I: 11. 13. 28. II: 13. III: 20. Januar I: 31. III: 31. März II: 15. Mai I: 5. 31. Juli I: 10.

Antizyklone: August I: 6. II: 29. 30. 31. III: 3. 29. September I: 2. 3. II: 1. 2. 3. III: 1. 2. 3. 5. Oktober II: 1. 8. 30. III: 11. 12. November I: 15. II: 15. III: 1. 25. Dezember II: 8. III. 10. 19. Januar I: 20. II: 20. III: 21. 22. Februar II: 3. 21. März I: 19. 20. II: 16. 19. 20. Mai I: 29. Juni II: 3. 23. Juli I: 9. 13. II: 11.

Ein sehr kleines V in bezug auf das zugehörige Mittel trifft man bei straffen Winden, bei Stürmen, insbesondere Föhn an, was folgende Beispiele zeigen:

Starker Wind: August I: 21. 24. II: 18. September I: 14. 19. 24. Oktober II: 22. November I: 6. 8. 9. II: 20. III: 9. 18. Dezember I: 4. II: 23. III: 3. 4. 5. 6. 7. Januar I: 4. 28. 30. Februar I: 25. II: 5. März I: 13. 21. 22. April I: 29. Juni I: 7. 10. II: 10. Juli I: 28.

Ein sehr hohes J in Hinsicht auf das zugehörige Monatsmittel kommt meist in der Antizyklone und bei Föhn zur Beobachtung. Beispiele sind:

Antizyklone und Föhn: August I: 6. 22. 23. II: 6. 29. 30. III: 3. 8. 22. 23. 28. 29. 31. September I: 2. 3. 16. 22. II: 1. 3. 21. 23. 24. 26. III: 1. 2. 3. 5. 13. 22. 23. Oktober I: 1. II: 8. 22. 30. III: 6. 11. 12. 29. November II: 7. 15. III: 25. Dezember II: 8. III: 5. 10. 19. Januar I: 28. II: 2. 8. 20. 27. 28. III: 2. 21. 22. Februar II: 3. 5. 21. März I: 15. 16. 20. II: 16. April I: 26. Juni II: 23. Juli I: 9. 11. 12. 13. II: 9. 11.

Ein sehr niedriges J im Vergleich zum entsprechenden Monatsmittelwert ist ein markantes Nebelmerkmal. Belege dafür sind:

Nebel: August I: 3. 5. 12. 13. 19. 20. 25. II: 2. 19. 22. 24. 27. III: 4. 8. 9. 12. 14. 27. September I: 9. 10. 13. 27. 30. II: 4. 13. 17. 28. III: 24. Oktober I: 3. 17. II: 3. 5. III: 2. 5. November I: 1. II: 17. 21. Dezember I: 11. 13. III: 20. Januar I: 31. III: 3. 8. 31. März II: 15. 26. Mai I: 5. 31. Juni 1: 15. Juli I; 14. 25.

Ein sehr hohes $\mathcal{A}$ gelangt zur Beobachtung vorzüglich bei Föhn. Beispiele sind:

August I: 4. 8. 18. 22. III: 8. September I: 1. 14. 16. 22. 24. 26. II: 21. 24. III: 17. 22. 23. Oktober I: 22. II: 22. November I: 6. 9. II: 7. III: 9. Dezember I: 4. II: 23. III: 3. 4. 5. 6. 7. Januar I: 4. 28. 30. II: 2. 8. 27. 28. Februar I: 25. März I: 13. 22. Juni I: 7. 10. II: 10. Juli I: 28. Vereinzelt tritt ein hohes $\mathcal{A}$ noch in ganz ausgesprochenen Antizyklonen auf, z. B.: Oktober III: 29. Januar II: 2. III: 2. 3. Juli I: 12.

Ein sehr kleines $\mathcal{A}$ im Vergleich zum Monatsmittelwert ist stets bei Nebel festzustellen; dies zeige:

August I: 3. 5. 12. 20. 25. II: 2. 9. 12. 13. 19. 22. 24. 26. 27. III: 4. 8. 9. 12. 14. 27. September I: 9. 10. 13. 27. 30. II: 4. 13. 17. 28. 30. III: 24. 26. 27. Oktober I: 3. 17. II: 3. 5. III: 2. 5. 8. November I: 1. II: 17. 21. III: 20. Dezember I: 11. 13. II: 13. III: 20. Januar III: 3. 8. 31. März II: 15. 26. Mai I: 5. 31. Juni I: 15. Juli I: 10. 14. 19. 25.

Hohes + J und hohes $\mathcal{A}$ wurde häufig bei Antrieb von Schnee- und Gesteinsstaubteilchen an die Auffangplatte des Wilsongerätes beobachtet. Dadurch wird also ein hoher Leitungsstrom J der Luft und ein hohes $\mathcal{A}$ der Luft vorgetäuscht. Da auch Staubelektrisierung negativen Vorzeichens zur Messung gelangte, seien die Beispiele erst unter Fall 3 und 4 aufgeführt.

Somit zeigen also Nebel, antizyklonales Wetter, starker Wind und besonders auch Föhn ganz charakteristische Einwirkungen auf den Betrag der luftelektrischen Elemente, und zwar ergibt sich:

1. Bei antizyklonaler Wetterlage beobachtet man die höchsten Potentialgradienten, einen erhöhten Leitungsstrom und in der Regel eine schwache Abnahme der Leitfähigkeit gegenüber dem Mittelwert.

Der hohe Potentialgradient erklärt sich durch Ausbildung einer grossen positiven Raumladung über dem Gipfel, was durch den schwachen Wind bei dieser Wetterlage begünstigt wird; der erhöhte Leitungsstrom wird wohl konvektiv durch die absteigenden Luftmassen bewirkt. Die Leitfähigkeit wird geringfügig kleiner, weil sich wegen des geringen Windes auch grosse Ionen in der Gipfelluft halten können.

2. Starker Wind hat sofort einen niedrigen Potentialgradienten zur Folge. Es kann sich keine Raumladungswolke mehr ausbilden. Beim Föhn gesellt sich hierzu eine sehr erhöhte Leitfähigkeit, die der reinen absteigenden Luft zugeschrieben werden muss, ähnlich wie im verhältnismässig seltenen Fall der rein antizyklonal absinkenden Luft.

3. Nebel und damit auch Wolken erhöhen den Potentialgradienten beträchtlich und besonders typisch ist die sehr starke Herabsetzung des Leitungsstromes und der Leitfähigkeit.

Durch die Anlagerung der normalen Ionen an die Nebelteilchen wird die Leitfähigkeit erheblich vermindert und deshalb bleibt auch der Leitungsstrom stecken; feldverstärkende Raumladungen sind die Folge.

So war am 3. August 1927 bei wolkenlosem Himmel erst $V = 84{,}8$ Volt/m, $J = 4{,}56 \times 10^{-16}$ Amp./qcm und $\mathcal{A} = 48{,}3 \times 10^{-5}$ $\frac{\text{E.S.E.}}{\text{sec.}}$ zu beobachten und sogleich nach Nebeleinfall ein $V = 157{,}6$ Volt/m, $J = 0{,}97 \times 10^{-16}$ Amp./qcm und $\mathcal{A} = 5{,}6 \times 10^{-5}$ $\frac{\text{E.S.E.}}{\text{sec.}}$. In absoluten Einheiten in die Poissonsche Gleichung eingesetzt ergibt sich eine Raumladung $\varrho = +\,0{,}02$ E.S.E./cbm in der Oberflächenschichte des Nebels. Diese ist also eine ausgesprochene luftelektrische Diskontinuitätsfläche.

Ähnliche Beispiele, bei denen je die Hälfte einer Messstunde bei Nebel und bei wolkenlosem Himmel stattfand, wurden nach Tabelle 6 noch beobachtet: August II: 24. III: 4. 8. 14. September I: 30. Oktober II: 5. Januar III: 3. 31. März II: 26. Mai I: 5. 31.

Interessant sind auch die Fälle, bei denen der Leitungsstrom J fast ungeschwächt die Messplatte noch erreichen konnte, während ringsum im selben Niveau die Oberfläche des Nebelmeeres sich befindet und bereits die Erhöhung des Potentialgradienten bewirkt. Hierher gehören die Beobachtungen mit dem Beisatz: ringsum Nebel, jedoch Zenit klar. Belege sind: August: III: 15. 23. September II: 9. 23. 30. III: 26. Oktober III: 8. November III: 14. Dezember I: 28. Juli I: 10.

In diesem Zusammenhang verdient auch die Beobachtung bei Gewitterneigung Erwähnung, dass einmal bei Wilsonmessungen am Platt (s. Figur 1 bei B) höhere Feldwerte gefunden wurden als am Grat bei Z, selbstverständlich unter Ausschaltung des Einflusses des Tagesganges. Auch die Beobachtung, die ich sehr häufig bei Spaziergängen machen konnte, dass nämlich die elektrische Ausstrahlung (Elmsfeuer, Singen des Eispickels) bei P ebenso heftig wie bei Z gefunden wurde, beweist denselben Sachverhalt.

Auf Grund des „Reliefs" ist aber bei B ein bedeutend schwächeres Feld als bei Z zu erwarten. Durch eine etwa in der Schicht C befindliche grosse Raumladung wird aber gemäss dem Thomsonschen Spiegelungsprinzip im näheren B ein

grösseres Zusatzfeld bewirkt als im entfernteren Z, so dass die durch das „Relief" bewirkte Felddifferenz von Z gegen B bei B in Übereinstimmung mit den Tatsachen weit überkompensiert werden kann.

Fall 2.

Der Fall 2 ist durch einen negativen Potentialgradienten und einen nach aufwärts gerichteten Leitungsstrom $-J$ gekennzeichnet. Er wird auf der Zugspitze fast ausschliesslich bei Niederschlägen, und zwar bei Regen, Schnee und Graupeln beobachtet. Die Feldumkehr bei Niederschlägen ist, wie schon bei Figur 5 besprochen, besonders drastisch aus der Registrierung des Spannungsgefälles zu ersehen; auch in meiner ersten Studie[1]) p 5 habe ich schon 300 solche Fälle angeführt. Die Wilsonmessungen sind hier nicht zahlreich, da nur Beobachtungen in Frage kommen, bei denen bestimmt keine Niederschlagsteilchen zur Auffangplatte gelangten. Es sind dies die Beispiele:

August I: 12. mit Regen und Schnee, 15. mit Regen und Schnee, 19. mit Graupeln, II: 7. mit Regen, 9. mit Regen, September I: 5. mit Schnee, II: 28. mit Schnee, Dezember II: 24. mit Schnee.

Fall 3 und 4.

Dem Fall 3 entspricht ein negativer Potentialgradient $-V$ im Vereine mit einem positiven Leitungsstrom $+J$. Er ist fast ausschliesslich an Niederschläge geknüpft, die zunächst die Feldumkehr des Falles 2 bringen und bei denen die positiv geladenen Niederschlagsteilchen durch den Wind an die Auffangplatte getrieben werden. Dadurch wird dann ein sehr hohes $+J$ und eine sehr grosse Leitfähigkeit der Luft vorgetäuscht.

Niemals liessen sich in diesen Fällen homogene Messreihen mit dem Wilsongerät erzielen, da die Ladung der angetriebenen Niederschlagsteilchen so gross war, dass selbst bei ganz kurzer Exposition der Messbereich überschritten wurde.

Für den viel selteneren umgekehrten Fall eines durch Niederschläge bewirkten negativen Leitungsstromes $-J$ bei gleichzeitigem positiven Potentialgradienten $+V$ (Fall 4) enthält Tabelle 6 die folgenden Beispiele: September I: 8. mit Regen und Schnee, 10. mit Regen, 13. mit Schnee, II: 8. mit Regen und Schnee, März I: 24. mit Schnee.

Dem Falle 4 ordnen sich ferner noch einige Beobachtungen bei Schneefegen unter, z. B.: August II: 26. November I: 18. 19. 21. II: 20. III: 18. 19. 20.

In der Mehrzahl der Fälle wurde die Auffangplatte des Wilsongerätes bei Schneefegen und Anflug von Gesteinsstaub stark positiv aufgeladen, so dass also, wie schon bei Fall I angedeutet, hohes $+J$ zur Beobachtung gelangt. Tabelle 6 enthält die Beispiele: Schneefegen: August I: 16. 20. II: 27. III: 16. 19. 27. September I: 14. 17. III: 13. 17. Oktober I: 8. November I: 16. II: 16. III: 15. Januar I: 31. II: 30. Februar II: 5. Steinstaub: Oktober I: 22. II: 22. III: 29. November I: 21. II: 7.

Die durch Wind hervorgerufene Schneestaub- und Gesteinsstaubelektrisierung ist also beträchtlich (dabei ist zu bedenken, dass mit dem Wilsongerät nur bescheidene Fälle gemessen werden können); trotzdem dürfte ihr nur die Bedeutung einer bodennahen Störung im Elektrizitätshaushalte zukommen[22]). Auch den ungeheueres Ausmass annehmenden Elektrisierungsvorgang im Gewitter (Lenardeffekt) kommt nach der sehr wahrscheinlichen Simpsonschen Theorie nur lokale Bedeutung zu.

Man sieht also, dass die Natur im Laufe eines Jahres genügend typische Experimente unternimmt, so dass aus einem entsprechend reichen Beobachtungsmaterial die Wirkung der einzelnen meteorologischen Störung im Gange eines luftelektrischen Elementes genügend klar und eindeutig hervortritt. Und weil die richtige Wertung der Einzelstörung hiermit ermöglicht ist, können jetzt auch die Fälle, bei denen mehrere verschiedene Störungen gleichzeitig beteiligt sind, erfasst werden, und somit kann nun jede Form des Verlaufes der luftelektrischen Elemente eine hinreichende Erklärung finden.

Inwieweit Luftkörpern verschiedener Herkunft (Tropikluft, Maritime Luft, Polarluft, Kontinentalluft) kennzeichnende luftelektrische Eigenschaften besitzen, gehört zwar nicht mehr zum Thema, aber man erkennt bereits, dass diese Frage nicht ohne weiteres zu beantworten ist, da von allen lokalen Einwirkungen und auch vom Nebeleinfluss abstrahiert werden muss, was bei der Wahl eines rein meteorologischen Kriteriums, z. B. der äquipotentiellen Temperatur, i. a. nicht nötig ist.

14. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Mit Versuchsanordnungen, die von mir den Zugspitzverhältnissen eigens angepasst wurden, sind drei Jahre lang, insbesondere aber 1927/28, luftelektrische Messungen durchgeführt worden und dabei wurden in der Hauptsache die folgenden Ergebnisse erzielt:

1. Der Potentialgradient zeigt das ganze Jahr hindurch einen einfachen täglichen Gang. Diese eintägige Welle hat ein Minimum um 4 Uhr M.E.Z. und stimmt also nach Weltzeit mit den Ergebnissen anderer Stationen überein[23]), [24]).

2. Der Jahresgang des Potentialgradienten weist im Gegensatz zu den Befunden über dem Flachlande das Maximum im Sommer, das Minimum im Spätherbst und Winter auf.

3. Der Leitungsstrom zeigt einen geringen Anstieg im Laufe des Tages.

4. Der Leitungsstrom kann als jahrüber merklich konstant bezeichnet werden in Übereinstimmung mit den Ergebnissen über dem Flachlande, bei denen er bedeutend geringeren Schwankungen als Potentialgradient und Leitfähigkeit unterliegt.

5. Die Leitfähigkeit hat als täglichen Gang wieder die eintägige Welle und verläuft spiegelbildlich zum Potentialgradienten.

6. Auch der Jahresgang der Leitfähigkeit verläuft spiegelbildlich zum Spannungsgefälle und das verschiedene Verhalten gegenüber dem Flachlande kann als Folge des verschiedenen meteorologischen Verhaltens der Atmosphäre im

Sommer und Winter erklärt werden. Nach der Benndorfschen Einteilung gehört die Zugspitze zur Gruppe B als nördlichste Randstation.

7. Der Betrag der Leitfähigkeit ist im Mittel an der Turmwand $34{,}2 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec., in 1 m Abstand davon aber $71{,}4 \times 10^{-5} \frac{\text{E.S.E.}}{\text{sec.}}$ Dies weist auf eine mittlere positive Raumladung von $+\ 0{,}02 \frac{\text{E.S.E.}}{\text{cbm}}$ hin, dem 100fachen Betrage wie in der freien Atmosphäre gleicher Höhe.

8. Die durchdringende Strahlung (Ultragammastrahlung + Gamma-Anteile der Erd- und Luftstrahlung + Sekundärwirkungen) beträgt im Mittel 7,64 I und hat einen einfachen Jahresgang mit dem Maximum im Sommer, dem Minimum im Winter in Übereinstimmung mit der Schneebedeckung des Gipfels und im Hinblick darauf, dass dieser Gang auf die Erdstrahlung zurückzuführen ist, während die Höhenstrahlung einen jahrüber merklich konstanten Anteil beisteuert.

9. Die Zahl der normalen Ionen kann unter Zugrundelegung der Messungen der polaren Leitfähigkeiten und der Annahme von anderer Seite gewonnener Beweglichkeitswerte auf 1200 in 1 ccm veranschlagt werden. Die hohe Leitfähigkeit am Gipfel ist daher mehr eine Folge der erhöhten Beweglichkeit als die Folge einer erhöhten Ionenzahl gegenüber dem Flachlande.

10. Aus dem gemessenen $\frac{\lambda+}{\lambda-} = 1{,}1$ und einem $\frac{k+}{k-} = 0{,}9$ ergibt sich ein Überschuss von $+110$ positiven normalen Ionen, entsprechend einer Raumladung derselben Grössenordnung wie bei 7., was ein Zeichen dafür ist, dass die Raumladung im Mittel fast allein den normalen Ionen zuzuschreiben ist, woraus die Kernarmut der Gipfelluft folgt.

11. Die Bilanzbetrachtung ergibt für die normalen Ionen eine mittlere Lebensdauer von 120 sec. gegenüber 70 sec. über dem Flachlande und etwa 200 sec. über dem Meere, wieder ein Zeichen des geringen mittleren Kerngehaltes der Gipfelluft.

12. Auf der Tatsache der merklichen Konstanz des Leitungsstromes kann ein Reduktionsverfahren der luftelektrischen Zugspitzwerte auf die freie Atmosphäre in gleicher Höhe gegründet werden, sofern man die Leitfähigkeit am Gipfel kennt.

13. In der Antizyklone beobachtet man stark erhöhte Potentialgradienten, erhöhten Leitungsstrom und in der Regel schwach verminderte Leitfähigkeit, sehr selten stark erhöhte Leitfähigkeit.

14. Starker Wind erniedrigt den Potentialgradienten beträchtlich. Föhn steigert hierzu noch die Leitfähigkeit.

15. Nebel und Wolken erhöhen den Potentialgradienten beträchtlich und setzen den Leitungsstrom und die Leitfähigkeit stark herab.

16. Die Oberfläche einer Nebeldecke ist eine ausgesprochene luftelektrische Diskontinuitätsfläche und ist Sitz einer Raumladung.

17. Niederschläge sind auf der Zugspitze in der Regel mit einer Feldumkehr verknüpft, während die Niederschlagsteilchen meist das entgegengesetzte Vorzeichen aufweisen.

18. Der in der Natur auftretenden beträchtlichen und in der Mehrzahl der Fälle positiven Elektrisierung des aufgewirbelten Schnee- und Gesteinsstaubes kommt nur die Bedeutung einer bodennahen Störung zu.

19. Vergleich einiger Mittelwerte von Potsdam, München und Zugspitze:

$$\text{Potsdam: } V = 202\ \text{Volt/m},\ \mathcal{A} = 9{,}7 \times 10^{-5} \frac{\text{E.S.E.}}{\text{sec.}}\ J = 2{,}27 \times 10^{-16} \frac{\text{Amp}}{\text{qcm}}$$

$$\text{München: } V = 179\ \text{Volt/m},\ \mathcal{A} = 9{,}8 \times 10^{-5} \frac{\text{E.S.E.}}{\text{sec.}}\ J = 1{,}02 \times 10^{-16} \frac{\text{Amp}}{\text{qcm}}$$

$$\text{Zugspitze: } V_0 = 162\ \text{Volt/m},\ \mathcal{A}_0 = 37{,}3 \times 10^{-5} \frac{\text{E.S.E.}}{\text{sec.}}\ J = 6{,}70 \times 10^{-16} \frac{\text{Amp}}{\text{qcm}}$$

$$V_1 = 85\ \text{Volt/m},\ \mathcal{A}_1 = 71{,}4 \times 10^{-5} \frac{\text{E.S.E.}}{\text{sec.}}$$

$$V_{ra} = 25\ \text{Volt/m},$$

$$V_{rb} = 18\ \text{Volt/m},$$

wo der Index 0 für die Turmwand, der Index 1 für 1 m Entfernung davon gilt und r den auf die freie Atmosphäre reduzierten Wert bedeutet unter Zugrundelegung eines $J = 2{,}0 \times 10^{-16}$ Amp./qcm und eines $\mathcal{A} = 71{,}4 \times 10^{-5}$ E.S.E./sec. bei ra, eines $\mathcal{A} = 100 + 10^{-5}$ E.S.E./sec. bei rb.

Zur Kenntnis des meteorologischen Klimas der Zugspitze gesellt sich somit auf Grund dieser Arbeit jetzt noch ein Überblick über die luftelektrischen Eigenschaften dieses Gipfels, was diese Station nun auch für die Bearbeitung spezieller und eindringenderer elektrischer Aufgaben besonders geeignet macht[1]) p 1, [25]).

15. Literaturangabe.

1. P. Lautner, Luftelektrische Studien auf der Zugspitze. D. Met. Jahrbuch Bayern Anhang D. 1—8.
2. A. Wigand u. H. Kircher, Schnellwirkende luftelektrische Kollektoren. Gerlands Beiträge zur Geophysik 17, 1927, p 379.
3. C. W. Lutz, Das normale luftelektrische Potentialgefälle in München 1906—25. Sitzber. d. B. Akad. d. Wiss. 1928 p 19—36.
4. C. W. Lutz, Messung des vertikalen Leitungsstromes Luft = Erde im Jahre 1909. Sitzber. d. B. Akad. d. Wiss. 1911 p 329—360.
5. C. W. Lutz, Saitenelektrometer neuer Form. Phys. Zeitschr. 1923 p 166.
6. K. Kähler, Ergebnisse 15jähriger Potentialgefälle-Registrierungen in Potsdam. Tätigkeitsber. 1917—19 d. Pr. Met. Inst. Berlin 1920 p 63. H. Markgraf, Gesetzmässigkeiten der luftelektrischen Elemente in Potsdam. Met. Zeitschr. 1924 p 65.
7. C. Dorno, Studie über Licht und Luft des Hochgebirges. Vieweg, Braunschweig 1911.
8. C. Dorno, Grundzüge des Klimas von Muottas-Muraigl (Oberengadin). Vieweg, Braunschweig 1927.
9. H. Benndorf, Atmosphärische Elektrizität. Handb. d. Experimentalphysik v. W. Wien u. F. Harms Bd. 25 I Geophysik 1928 p 257—381.
10. E. v. Schweidler u. K. W. F. Kohlrausch, Atmosphärische Elektrizität. Handb. d. Elektrizität u. d. Magnetismus v. L. Graetz 1923 Bd. III p 193—276 mit Literatur bis Mitte 1914.
11. V. F. Hess, Die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre und ihre Ursachen. Sammlung Vieweg Bd. 84/85.
12. J. Elster u. H. Geitel, Beobachtungen der normalen atmosphärischen Elektrizität auf dem Sonnblick. Sitzber. d. K. Akad. d. Wiss. Wien 1893 p 1—22.
13. G. Hoffmann u. F. Lindholm, Registrierbeobachtungen der Hessschen Ultragammastrahlung auf Muottas-Muraigl (2456 m). Gerlands Beitr. z. Geophysik 20, 1928 p 12—54.
14. H. Geiger u. W. Müller, Das Elektronenzählrohr. Phys. Zeitschr. 29, 1928 p 839.
15. V. F. Hess, Die mittlere Lebensdauer der Ionen in der Luft über dem Meere. Phys. Zeitschr. 29, 1928 p 849.
16. V. F. Hess, Die mittlere Lebensdauer der leichten Ionen und die Ionisierungsbilanz in der Atmosphäre über dem Meere und im Gebirge. Phys. Zeitschr. 28, 1927 p 882.
17. E. v. Schweidler, Über die Charakteristik des Stromes in schwach ionisierten Gasen. Wiener. Sitzber. 133, 1924 p 23 u. 127, 1918 p 953, 128, 1919 p 947.
18. J. Nolan u. J. Enright, Proc. Roy. Irish Acad. 36 A, 1923 p 93.
19. A. D. Power, Journ. of Franklin Inst. 196, 1923 p 327.
20. W. Schlenk, Experimentelle Untersuchungen über die Charakteristik des Stromes in schwach ionisierten Gasen. Wiener Sitzber. 133, 1924 p 29.
21. H. Benndorf u. V. F. Hess, Luftelektrizität. Lehrb. d. Physik von Müller-Pouillet V, 1 11. Aufl. 1928.
22. K. Kähler, Über die Ursache einiger einfacher luftelektrischer Störungen. Met. Zeitschr. 39, 1922 p 293 u. K. Kähler u. C. Dorno Ann. d. Physik (IV) 77, 1925 p 71.
A. Stäger, Vulkanische Elektrizität und verwandte Gebiete, Gerlands Beitr. z. Geophysik XVI, 1927 p 277.
H. Israel, Versuche zur Erklärung der Staubelektrisierung. Zeitschr. f. techn. Physik IX, 1928 p 289.
23. K. Hoffmann, Bericht über die in Ebeltofthafen auf Spitzbergen . . . . durchgeführten luftelektrischen Messungen. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosphäre XI, 1924 p 1—19.
24. H. U. Sverdrup, Ergebnisse der Messungen des Potentialgefälles auf der Maud-Expedition. Zeitschr. f. Geophysik III, 1927 p 93.
25. A. Huber, Das Klima der Zugspitze. D. Met. Jahrb. Bay. 1913 Anh. L.

Es ist mir noch eine angenehme Pflicht, Herrn Geh. Reg.-Rat Professor Dr. A. Schmauss, Direktor der Bayerischen Landeswetterwarte, für die Gelegenheit zu dieser Arbeit und ihre ständige Förderung von Herzen zu danken.

Lebenslauf

Studienassessor Peter Lautner, protestantischer Konfession, geboren am 18. Juli 1899 als Sohn des Verwalters Hans Lautner in Fürth, besuchte dort die Volksschule und sechs Klassen Realschule. Nach zwei Klassen Oberrealschule in Nürnberg trat er am 1. Juli 1917 als Pionier ins Heer ein und war vom Februar 1918 bis Kriegsende an der Westfront. Nach vierjährigem Studium der Mathematik, Physik und Geographie an den Universitäten Erlangen und Göttingen legte er im Herbst 1922 den ersten Teil, nach einem Seminarjahr am Theresiengymnasium in München im Juni 1923 den zweiten Teil der Lehramtsprüfung für Mathematik und Physik ab. Seitdem ist er Assistent der Bayerischen Landeswetterwarte und war 1924/25, 1925/26 und 1927/28 Zugspitzbeobachter.